

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

«На правах рукопису»

УДК 62-1/-9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Гондляр О.В.

«_____» _____ 2019р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування

спеціалізація Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів

на тему: Обертova піч 6.5x90 з модернізацією опірної станції

виконав студент 2 курсу, групи ЛП-82мп

Калитенко Сергій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник проф. Щербина В.Ю.

Консультант (модернізація) проф. Щербина В.Ю. _____

Консультант (ТМ та Е) ст. викл. Борщик С.О. _____

Рецензент

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Студент

Київ 2019 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація - Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.В.Гондлях
«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Калитенко Сергій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Обертова піч 6.5х90 з модернізацією опірної станції
Науковий керівник дисертації проф. Щербина В.Ю.,
затверджений наказом по університету від « 01 » 11 2019 р. № 3807-с
2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2019 р.
3. Об'єкт дослідження: механічні процеси в обладнанні хімічної промисловості на стадії проектування та експлуатації.
4. Предмет дослідження обертові печі та їх конструктивні елементи, що знаходяться під дією складних статичних і малоциклових навантажень.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Магістерська дисертація включає такі розділи: Зміст, Вступ, Опис машини, Технічна характеристика, Патентно-літературний огляд, Вибір модернізації, Розрахунки елементів базової конструкції, Модернізація установки, Стартап-проект, Охорона праці, Технологія монтажу та експлуатації, Висновки, Перелік посилань, Додатки.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Обертова піч 6.5х90 - 1 лист, А3; Корпус печі 6.5х90 - 1 лист, А3; Упорний ролик - 1 лист, А3; Опора базова - 1 лист, А3; Опора модернізована - 1 лист, А3; Модернізований опірний пристрій - 1 лист, А3; Розрахунок модернізованого опірного пристрою - 1 лист, А3; Інтерфейс програми autolisp - 1 лист, А3; Робота програми autolisp - 1 лист, А3.
7. Орієнтовний перелік публікацій: Заявка на корисну модель № 126087. Номер заявки u201906971: «Опірний пристрій обертового барабана» тези на Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»: «Автоматизована система проектування упорного ролика обертової печі»; Всеукраїнської науково-

практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»: «Розрахунок рухомої щоби дробарки зі складним качанням»; «Можливості модернізації рухомої щоби дробарки зі складним качанням міжнародному журналі».

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Монтаж і експлуатація обладнання	Борщик С.О., ст.викл.		
Модернізація	Щербина В.Ю., проф.		
Перевірка на оригінальність	Щербина В.Ю., проф.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ. Призначення та галузь застосування машини		
2	Опис машини		
3	Літературно-патентний огляд, обґрунтування модернізації		
4	Охорона праці		
5	Стартап-проект		
6	Розрахунки які підтверджують працездатність машини		
7	Розрахунки 3D моделі		
8	Монтаж та експлуатація		

	машини		
9	Висновки, перелік посилань		
10	Оформлення ПЗ		
11	Оформлення креслень		

Студент

(підпис)

Калитенко С.Ю.

Керівник дисертації

(підпис)

Щербина В.Ю

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації на тему „Обертова піч 6.5х90з модернізацією опірної станції ”: стор.134, рис.65,

Об’єкт дослідження: обертова піч.

Мета дослідження: модернізація опірної станції обертової печі.

Обертові печі призначені для використання в технологічних лініях по сухому способу виробництва цементу, та в інших галузях промисловості, де після попередньої обробки: дроблення, здрібнювання, сортування сировина піддається випалу.

Виникає завдання з підвищення якості виготовлення клінкеру, для цього необхідно покращити економічність, безвідхідність, використовувати екологічно чисті технології. Такі кроки дозволять у багато разів підвищити ефективне використання ресурсів та зменшити енерго і матеріалоємність виробництва клінкеру.

Була розглянута технологічна схема з виробництва портланд цементу сухим способом, з використанням обертової печі 6.5 х 90, розглянута конструкція печі та режими її роботи, виконано літературно-патентний пошук для визначення основних недоліків обертових печей та методів усунення.

Приведено вибір та обґрунтування модернізації опірної частини, та запропонована нова оригінальна ідея, що значно збільшує річну продуктивність машини, термін служби корпусу та футеровки за рахунок зменшення навантаження, що в них виникають

Теоретичні ідеї модернізації підтверджені результатами розрахунку, які виконані з допомогою сучасних САПР систем «ABAQUS» та «Весна». Аналіз розрахунків показав можливість впровадження розробленої конструкції в промисловість.

ОБЕРТОВА ПІЧ, ЦЕМЕНТ, СУХИЙ СПОСІБ, КЛІНКЕР, МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis on " Rotating furnace 6.5x90z modernization of the reference station ": page.134, pic.65,

Object of study: rotary kiln.

Research objective: modernization of the rotary kiln support station.

Rotary kilns are intended for use in technological lines on a dry way of production of cement, and in other industries where after preliminary processing: crushing, grinding, sorting raw materials are exposed to roasting.

There is a task to improve the quality of production of clinker, it is necessary to improve efficiency, waste-free, use environmentally friendly technologies. Such steps will significantly increase the effective use of resources and reduce the energy and material consumption of clinker production.

The technological scheme for the production of Portland cement dry method, using a rotary kiln 6.5 x 90 was considered, the design of the furnace and its modes of operation were considered, a literary and patent search was performed to determine the main disadvantages of rotary kilns and methods of elimination.

The choice and justification of the modernization of the support part are given, and a new original idea is proposed, which significantly increases the annual productivity of the machine, the service life of the body and lining by reducing the load that arises in them

Theoretical ideas of modernization are confirmed by results of calculation which are executed by means of modern CAD systems "ABAQUS" and "Spring". Analysis of calculations showed the possibility of implementing the developed design in the industry.

ROTARY KILN, CEMENT, DRY METHOD, CLINKER, MECHANICAL EQUIPMENT.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 ОПИС МАШИНИ	12
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА	17
3 ПАТЕНТНО–ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	18
3.1 Літературний огляд	18
3.2 Патентний пошук	19
4 ВИБІР МОДЕРНІЗАЦІЇ	26
5 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ	29
5.1 Параметричні розрахунки	29
5.1.1 Продуктивність печі.	29
5.1.2 Потужність привода обертання печі.	30
5.2 Тепловий розрахунок.....	32
5.2.1 Вихідні дані.	32
5.2.2 Витрата повітря на горіння і вихід продуктів горіння.	34
5.2.3 Вихід газоподібних продуктів із сировини.	35
5.2.4 Кількість пилу, що проходить через циклонні теплообмінники. .	36
5.2.5 Тепловий баланс пічної установки.....	36
5.2.6 Розміри обертової печі.	39
5.3 Розрахунки на міцність.....	41
5.3.1 Розрахунок опорно-ходової частини	41
5.3.2 Розрахунок вісі опорного ролика	42
5.3.3 Розрахунок бандажів	43
5.3.4 Розрахунок гідроупорів	46
5.4 Розрахунок корпусу обертової печі 6.5х90м за допомогою системи “Весна”	50
5.5 Автоматизована система проектування упорного ролика обертової печі	61

6 МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ	64
6.1 Побудова 3d моделі базової опірної станції.....	64
6.2 Побудова 3d моделі модернізованої опірної станції.....	66
6.3 Розрахунок 3d моделі базової опірної станції.....	72
6.4 Розрахунок 3d моделі модернізованої опірної станції.....	75
6.5 Підтвердження працездатності модернізованої установки та аналіз достовірності отриманих результатів.....	79
7 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	87
7.1 Опис ідеї проекту	87
7.2 Динаміка ринку за останні 5-8 років.....	88
7.3 Тенденції ринку.....	88
7.4 Аналіз внутрішнього маркетингового середовища підприємства.....	89
7.5 Аналізу зовнішнього маркетингового середовища	90
7.6 Аналіз факторів мікромаркетингового середовища.....	93
8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	96
8.1 Виробничий шум.....	97
8.2 Вібрація	99
8.3 Електробезпека.....	100
8.4 Запиленість повітря.....	102
8.5 Освітлення.....	102
8.6 Надзвичайні ситуації	103
9 МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ.....	107
9.1 Технологія складання гідроупора.....	107
9.1.1 Ескіз гідроупора	107
9.1.2 Специфікація	108
9.1.3 Схема складання.....	111
9.1.4 Операційна карта складання	113
9.2 Монтаж машини на фундаменті	117
9.2.1 План-схема розміщення фундаментних болтів	117
9.2.2 Карти ескізів монтажу машини	118

9.2.3 Операційна карта монтажу	124
9.3 Експлуатація машини	127
9.3.1 Схема змащення	127
9.3.2 Таблиця змащення	128
ВИСНОВКИ.....	129
ЛІТЕРАТУРА	131
ДОДАТОК А.....	134

ВСТУП

В сучасних українських та світових реаліях існують певні правила. Доних відносять поступове підвищення цін на енергоносії, які в свою чергу впливають на українську відчизняну промисловість, яка в свою чергу на промисловість будівельних матеріалів. Основними проблемами та запитаннями до існуючих виробництв є економічна доцільність та екологічність.

Так як економічність та якість мають першочергове значення для промисловості будівельних матеріалів. В наш час існує завдання не просто забезпечити будівельними матеріалами, але і раціонально використовувати трудові, матеріальні і енергетичні ресурси на їхнє виробництво.

В сучасних умовах, до промисловості будівельних матеріалів пред'являються вимоги забезпечити випереджальні темпи росту галузі, для забезпечення пропорції між рівнем розвитком галузі будівництва та його матеріально-технічною базою. Забезпечення розвитку масового виробництва створення прогресивних будівельних конструкцій та деталей. Перехід до комплексного постачання деталей і виробів повністю виконаних на заводі від постачання на об'єкти будівництва окремих конструкцій і матеріалів, зниження трудомісткості, зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів для виготовлення нових будівельних матеріалів і традиційних. За рахунок удосконалення структури і номенклатури продукції, що випускається, і за рахунок механізації та автоматизації виробництв.

Для забезпечення технологічного процесу будівництва необхідно задовольнити потребу в бетонних та залізобетонних виробах і конструкціях, тому виникає потреба в різкому збільшенні випуску цементу а відповідно і клінкеру. Тому основний матеріал у сучасному будівництві це цемент.

Виникає завдання з підвищення якості виготовлення клінкуру, для цього необхідно покращити економічність, безвідхідність, використовувати екологічно чисті технології. Такі кроки дозволять у багато разів підвищити ефективне

використання ресурсів та зменшити енерго і матеріалоємність виробництва клінкеру.

Була розглянута технологічна схема з виробництва портланд цементу сухим способом, з використанням обертової печі 6.5 x 90, розглянута конструкція печі та режими її роботи, виконано літературно-патентний пошук для визначення основних недоліків обертових печей та методів усунення, на прикладі якої будуть вирішуватись поставлені завдання.

Одним з найважливіших вузлів обертової печі є опірний пристрій так як від його роботи залежить надійність та довговічність роботи самої печі. Опірний пристрій сприймає все навантаження від маси обертової печі, яка сягає декількох тисяч тон.

Однак, незважаючи на масштабність застосування обертових печей, надзвичайно мало уваги приділяється ресурсу роботи опорно-упорним станціям барабанних апаратів, недоліки експлуатації яких є причиною викривлення осі корпусу обертових барабанів і зносу бандажів.

З огляду на це, дослідження в напрямку удосконалення роботи опорних вузлів обертових печей та підвищення терміну їх експлуатації є вкрай актуальними. Тому, тема даної магістерської дисертації буде присвячена підвищенню ресурсу роботи опорних вузлів обертових печей шляхом впровадження комплексної модернізації методом експериментального моделювання на основі існуючого програмного забезпечення «VESNA» та «ABAQUS».

Робота зорієнтована на підвищення ресурсу роботи обертової печі шляхом модернізації опірної станції за рахунок зменшення контактних та знакозмінних напружень які виникають в бандажах та корпусі печі. Для цього пропонується зміна конструкції опірної станції, ефективність якої вище від існуючих, що надає широкі перспективи для його впровадження в технологічний процес.

1 ОПИС МАШИНИ

Обертова піч 6,5х90 м – це тепловий агрегат безперервної дії, розміщений під нахилом 3-5% до горизонту, завдяки чому при обертоанні печі сировина, що безперервно потрапляє у верхній кінець печі, поступово проходить через окремі теплові зони робочого простору печі, обпалюється і у вигляді клінкеру виходить з нижнього гарячого кінця печі в холодильник. Сировина в піч подається автоматизовано відповідно до її продуктивності, залежно від діаметру та швидкістю обертання [1].

Обертові печі призначені для використання в технологічних лініях по сухому способу виробництва цементу, та в інших галузях промисловості, де після попередньої обробки: дроблення, здрібнювання, сортування сировина піддається випалу.

Застосування в технологічній лінії п'ятиступінчастого циклонного теплообмінника перед піччю забезпечує значну економію теплової й електричної енергії.

До складу запічного теплообмінника входить двуфоркамерний декарбонізатор, який більш ефективно спалює паливо та підвищує ступінь декарбонізації сировинної суміші [2].

За рахунок циліндричної форми змішувальної камери досягається зниження металоємкості та підвищення стійкості футерівки.

До грубої пічної системи отримання цементного клінкера з попередньою кальцинацією вноситься пічна система сухого способу виробництва, яка складається з обертової печі з циклонними теплообмінниками обладнаної декарбонізаційним вузлом і воздуходувом третинного повітря.

Ця груба система дає можливість використовувати природний газ у виді палива для одержання клінкера необхідної якості.

Така конструкція декарбонізатора забезпечує відновлення частини окислів азоту в пічних газах і скорочення відсотка шкідливих викидів в атмосферу нижче норми.

У нових конструкціях обертових печей застосовують такі нові технічні рішення, як виконання опор печі з використанням підшипників кочення, що забезпечує підвищення надійності та зниження на 15-20% витрати електроенергії і зменшити металоємність та розміри приводу [3].

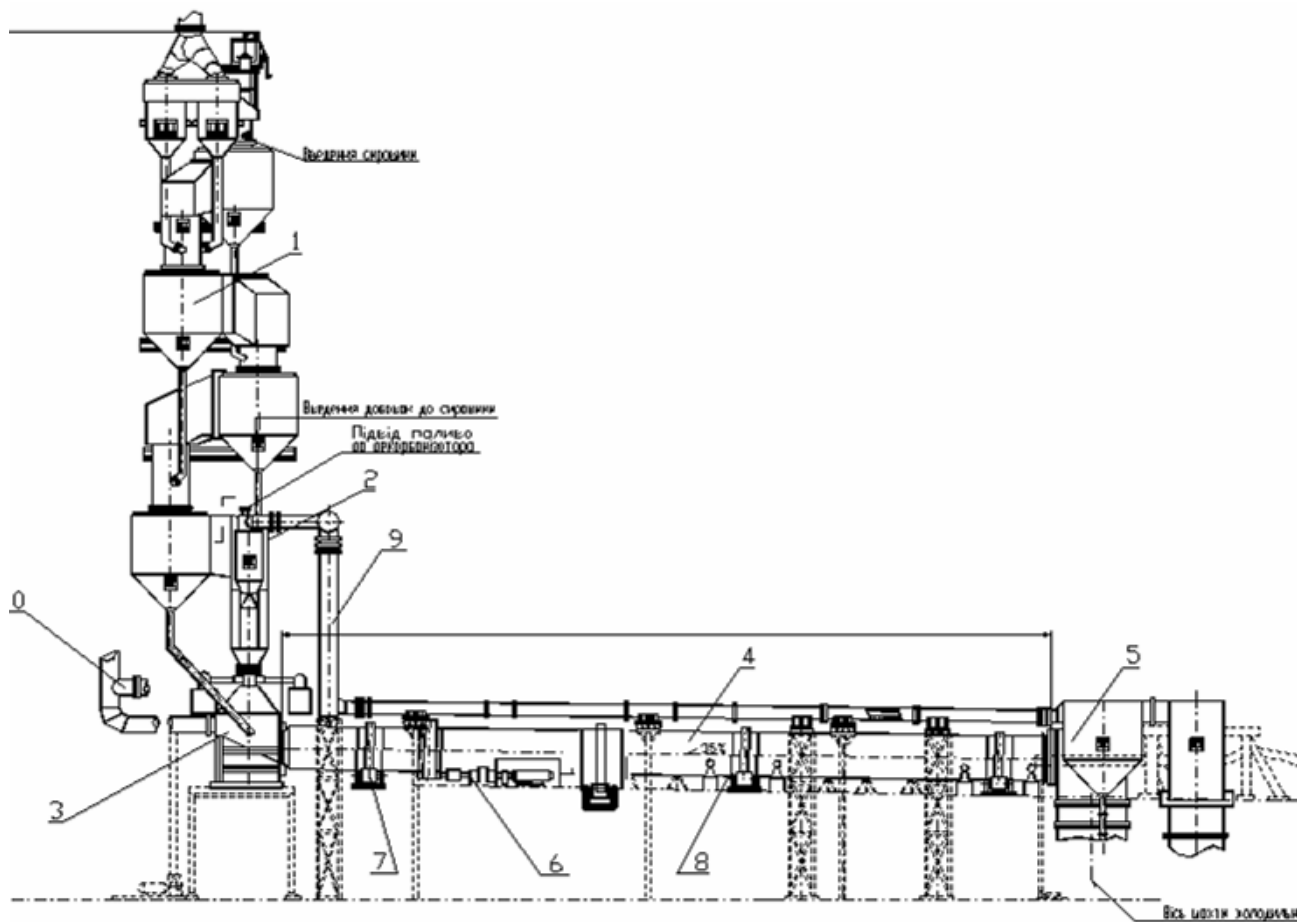


Рис 1.1 Загальний вигляд обертової печі 6.5x90м з циклонними теплообмінниками:

1. блок циклонних теплообмінників,
2. вузол декарбонізатора,
3. завантажувальна головка,
4. корпус обертової печі,
5. холодильник,
6. привід печі,
7. опора печі,
8. гідроупор.

Застосування вварних бандажів дозволяє підвищити надійність опірною вузла печі та забезпечує збільшення жорсткості корпусу печі, подовженню строку служби її футерівки.

Для підтримки оберткової печі під кутом на опірних роликах та забезпечення рівномірного зносу поверхонь кочення бандажів і опірних роликів використовується система гідравлічних упорів.

Для забезпечення всіх необхідних технологічних та експлуатаційних процесів привід оберткової печі може працювати в трьох режимах швидкості обертання, кожен з режимів робіт здійснюється від індивідуального привода, за рахунок основного привода: робоче ($3,2 \text{ хв}^{-1}$) і повільне (ремонтне) ($0,2 \text{ хв}^{-1}$), та за рахунок мікропривода для автоматичного зварювання кільцевих швів корпусу ($0,023 \text{ хв}^{-1}$).

Основний режим робочого обертання забезпечується електродвигуном постійного струму через пружну втулочно-пальцеву муфту та циліндричний двохступінчастий редуктор [4].

Через завантажувальну голівку обертова піч з'єднується з запічним теплообмінником. Завантажувальна голівка є перехідним вузлом в який входить завантажувальний кінець печі з конусом та плитами й ущільнювальними пристроями, які виконані з жаростійкого матеріалу. З нерухомою шахтою холодильника клінкера обертову піч з'єднує розвантажувальна голівка. У місці з'єднання з корпусом печі розвантажувальна голівка має розширену частину отвором для входу розвантажувального кінця печі. Для введення в пальника піч на протилежній торцевій стінці розвантажувальної голівки знаходяться двері з отвором. Для охолодження корпусу печі в зоні спікання розташований охолоджувальний пристрій, зкомпонований з установкою контролю температури і запобігання перегріву корпусу оберткової печі, включенням вентиляторів [5].

Запічні циклонні теплообмінники забезпечують попередню теплову обробку і часткову декарбонізацію матеріалу сировини завдяки інтенсивного теплообміну його з потоком гарячих газів, які відходять з печі і декарбонізатора. Негативним

фактором при роботі циклонів теплообмінника є підвищення ступіню пиловідділення через знижений аеродинамічний опір.

Вихідні патрубки циклонів мають високу довговічність і можливість їхньої заміни, а пропускні тічки забезпечені гравітаційними затворами або блимавками.

Для рівномірного розподілу матеріалу по перерізу газоходу і кращого теплообміну між газами і сировинним борошном в газоходах у місцях надходження матеріалу з тічок на шляху його потоку встановлені ефективні розсекателі.

Декарбонізатор і змішувальна камера складають декарбонізаційний вузол, який в сою чкргу зв'язаний технологічно і конструктивно із запічним теплообмінником.

Декарбонізаційний вузол технологічно призначений забезпечувати високий ступінь декарбонізації, перед потраплянням в обертову піч, основного сировинного компонента суміші-вапняку.

В декарбонізаторі який складається з вертикальної циліндричної камери з двома форкамерами відбувається інтенсивний процес нагрівання сировинного борошна в зваженому стані [6].

Інтенсивний теплообмін сприяє більш глибокої декарбонізації сировинного матеріалу та відбувається у змішувальній камері де гарячі газы декарбонізатора змішуються з потоком пічних газів, а частинки палива, що не допалилися-допалюються в змішувальній камері. По газоходу в циклон першої ступіні надходить перемішаний пилогазовий потік надходить. Якщо паливо важкоспалювальне, то передбачено подовжений варіант петлеобразного газоходу.

Гаряче повітря для спалювання в декарбонізаторі палива (до 60%) подається з холодильника через повітряпровід, що значно зменшує розміри печі.

Рух гарячих газів забезпечується запічним димосмоком, за рахунок створеного розрідження газы проходять через всю систему циклонів і газоходів. Дрібнодисперсна сировинна суміш подається в газохід верхньої ступіні

теплообмінника і рухається назустріч газовому потоку через циклони і декарбонізатор.

Після циклонного теплообмінника та декарбонізатора сировинна суміш на вході в обертову піч має температуру 840-860°C и ступінь декарбонізації 85-90%.

А остаточна теплова обробка сировинної суміші й утворення цементного клінкеру відбувається обертовій печі, далі клінкер потрапляє в холодильник і охолоджується повітрям.

Підігріте повітря з холодильника надходить у піч і декарбонізатор і використовується для горіння палива. Гази, що відходять, через запічний димосмок надходять в агрегат помолу і використовуються для сушіння сировини чи в установку для випарного охолодження.

Використання в складі обертової печі декарбонізаційного вузла істотно знижує теплове навантаження в печі [7].

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Продуктивність, т/год.	125
Площа внутрішньої поверхні печі по футерівці, м ²	2550
Питома витрата кількості теплоти, МДж/кг	3.35
Теплові навантаження	27,2
Знімання клінкера з 1 м ² футеровки, кг/(м ² ·год.)	66.3
Відношення довжини до діаметра	13.8
Ухил печі, %	4
Кількість упор	4
Частота обертання печі:	
від головного привода, об/хв.	0,93
від допоміжного привода, об/год.	3,6
Потужність електродвигуна, кВт	
головного привода	1 x 300
допоміжного привода	1 x 30
Маса, т:	
обертючих частин печі з футерівкою	2550
опорного ролика	24
бандажа	50
Діаметр, м:	
упорного ролика	1,1
бандажа	6,5
цапфи осі ролика	0,5

3 ПАТЕНТНО-ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

3.1 Літературний огляд

Одним з основних конструктивних елементів кожного обертового барабана або обертової печі є його опірні пристрої. Опори забезпечують підтримку обертового барабана та можливість його обертання. Так як опірний пристрій є одним з найбільш навантажених вузлів, та від його роботи залежить довговічність обертового барабана, тому є необхідність в забезпеченні його оптимальної роботи [8].

Знос бандажів - основне негативне явище при їх роботі. При цьому їх доводиться проточувати або замінювати новими, що супроводжується тривалим простоем печі. Руйнування бандажів, як показує практика експлуатації печей, відбувається дуже рідко і лише в тих випадках, коли бандажі відлиті неякісно або коли вони надмірно перевантажені.

Якщо бандаж спирається на перекошені ролики, то через концентрацію тиску на дуже малій поверхні контакту знос прискорюється ще більше. До того ж знос бандажа відбувається нерівномірно по його ширині: бандаж, який спирається на перекошені ролики, поступово набуває конусоподібну форму, яка, у свою чергу, стає причиною нерівномірного розподілу тиску по ширині бандажа і його подальшого зносу.

Знос бандажів зростає і при неправильному розподілі тиску на опори через підвищення або зниження однієї з них стосовно інших. Кочення бандажа по роликам при таких великих зовнішніх навантаженнях супроводжується в окремих випадках (в залежності від твердості сталей, обраних для бандажа і ролика, і тривалості роботи при перевантаженні) появою наклепу по зовнішній поверхні бандажа, зміною структури металу і виникненням у металі залишкових напружень.

До негативних явищ при роботі бандажа відноситься також нерівномірний його нагрів по перетину: значний у внутрішній поверхні і менший у зовнішньої. Від нерівномірного нагріву в бандажі виникають температурні напруги. Вони

можуть бути значними за величиною, особливо у бандажів коробчатої форми перерізу[9].

Отже основним негативним явищем при роботі обертових барабанних апаратів є знос бандажів. Через це їх доводиться проточувати або замінювати новими, що супроводжується тривалим простоем печі [10].

Знос бандажів зростає і при неправильному розподілі тиску на опори через підвищення або зниження однієї з них щодо інших. Збільшення навантаження на опору в 1,5-2 рази проти нормального. У цих випадках напруга від зминання бандажа в місці контакту його з опорним роликом зростає від середньої величини 400 до 600 МПа [11].

Деформації бандажа зростають зі збільшенням тиску, який передає на нього корпус печі. Отже, рівномірний розподіл тиску на опори печі є основним умовою зниження деформацій бандажів печі.

В роботі найбільшу увагу було приділено підвищенню ресурсу роботи бандажів та опірних роликів за рахунок вирівнювання величини опірною зусилля.

3.2 Патентний пошук

Під час виконання магістерської дисертації було проведено пошук патентів для покращення конструкції опірною пристрою обертової печі. Було знайдено 18 технічних рішень (Додаток А). Найбільш прийнятні описані нижче.

Технічні рішення розглянутих патентів модернізації:

У патенті (№1- (19) UA (11)45684 (13) А) розглядається винахід, який відноситься до конструктивних елементів обертових теплотехнічних агрегатів і може знайти застосування в галузях промисловості, які експлуатують обертові печі, сушильні барабани тощо

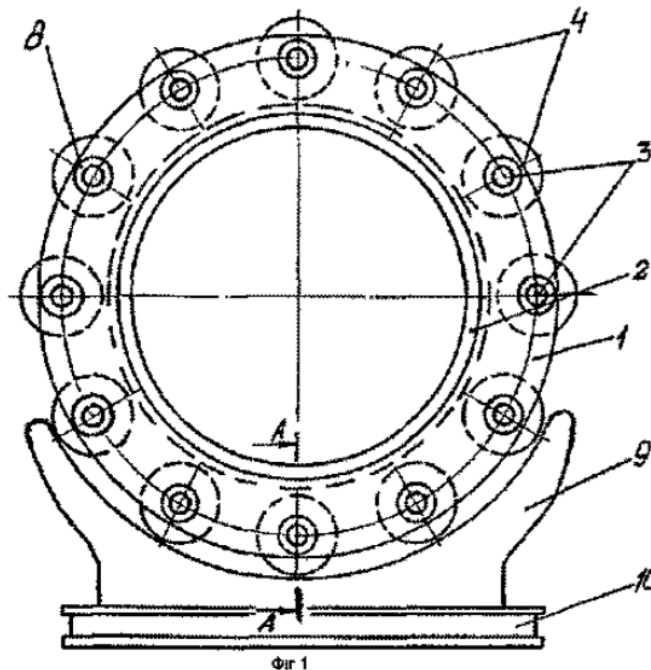


Рис. 3.1 представлена опора обертового теплотехнічного агрегата

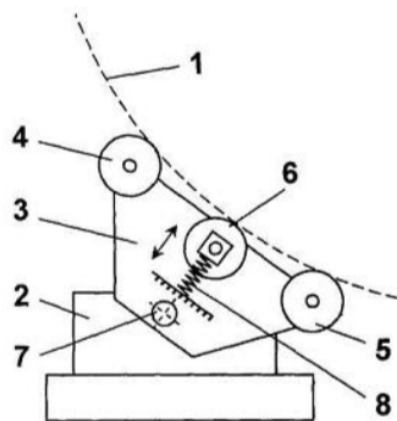
На рис. 3.1 представлена опора обертового теплотехнічного агрегата, яка містить бандаж 1 П-подібного січення встановлений на корпусі 2 обертового технічного агрегата В бокових стінках бандажа 1 рівномірно по колу закріплені осі 3, на яких насаджені сферичні ролікопідшипники 4 На сферичні ролікопідшипники 4 насаджені опорні ролики 5 які закріплені кільцями 6 Між ролікопідшипниками 4 і боковими стінками бандажа 1 встановлені розпорні втулки 7 Осі 3 зафіксовані, в бандажі 1 за допомогою стопорних кілець 8 Опорні ролики 3 опираються на станину 9, яка розміщена на опорній рамі 10

При такому виконанні опори, вихід з ладу одного чи двох опорних роликів не порушить її працездатності оскільки вони мають незалежне один від одного кріплення, не з'єднані в один кінематичний ланцюг Крім цього запропонована опора володіє підвищеною ремонтпридатністю, за рахунок меншої кількості рухомих кінематичних ланок і заміна будь-якої з них ніяким чином не вплине на працездатність іншої.

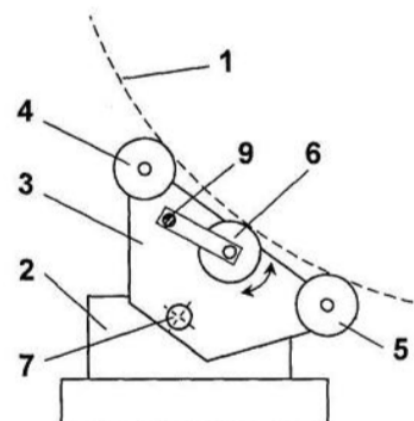
Недоліком даної модернізації може бути висока складність виконання та ціна через велику кількість роликів опор [12].

У патенті (№2- (19) UA (11)53839 (13) U) розглядається корисна модель, яка відноситься до конструктивного оформлення опорних або опорно-упорних станцій

обертових апаратів барабанного типу і може бути використана в сушильних, кристалізаційних, подрібнювальних, випалювальних та інших барабанних апаратах.



Фіг. 1



Фіг. 2

Рис. 3.2 на Фіг. 1 - загальний вигляд опори з одним додатковим роликом, спорядженим пружним елементом у вигляді пружини стиску; на Фіг. 2 - те саме, приклад спорядження додаткового ролика пружним елементом у вигляді торсіонного вала.

На рис. 3.2 Опора обертового барабана 1 містить основу 2, а також шарнірно встановлену на ній обойму 3 із закріпленими з можливістю обертання двома роликами 4 і 5, при цьому обойму 3 споряджено під-пружиненим роликом 6, розміщеним між основними роликами 4 і 5 і закріпленим з можливістю обертання й переміщення в напрямку шарніра 7 обойми 3 (Фіг. 1, 2). Пружний елемент ролика 6 може бути виконаний, наприклад, у вигляді пружини стиску 8 (див. Фіг. 1) або торсіонного вала 9 (див. Фіг. 2).

Пропонована корисна модель забезпечує регульоване розвантаження основних роликів опори обертового барабана[13].

У патенті (№3- (19) RU (11) 148 628 (13) U1) розглядається корисна модель, яка відноситься до галузей промисловості, в яких використовуються обертові обпалювальні та сушильні печі для виробництва різних будівельних, хімічних та інших матеріалів.

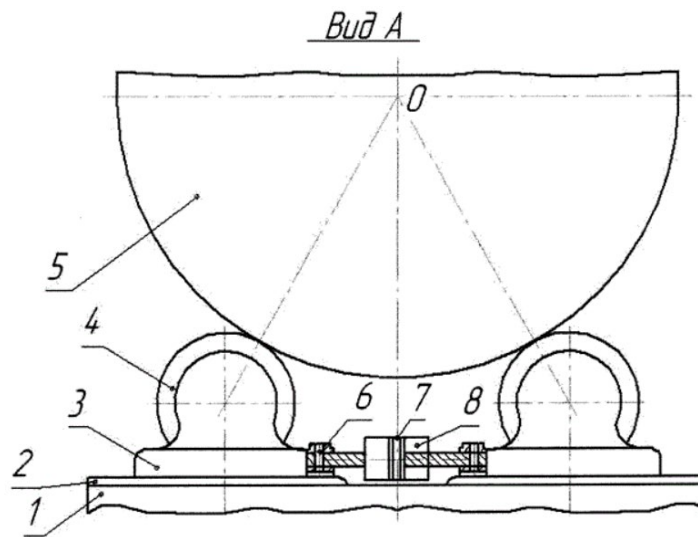


Рис. 3.3 на Фіг. 1 показана схема розташування бандажу обертається обпалювальної цементної печі на опорі.

На рис. 3.3 Опора обертової обпалювальної цементної печі містить раму 1 з направляючими 2, на яких розташовані корпуси 3 з опорними обертовими роликками 4 обпалювальної цементної печі, на які спирається бандаж 5. Кожен корпус 3 має отвір для установки осі 6 для з'єднання корпусу з штоком поршня 7 гідроциліндра 8 двостороннього дії з нерухомою гільзою циліндра. Джерелом живлення для гідроциліндра є гідростанція обертається обпалювальної цементної печі. Таким чином, ручна праця по регулюванню відстані між осями виключається.

Використання пропонованої опори обертається обпалювальної цементної печі для пересування роlikоопор в порівнянні з існуючим має такі переваги:

1. Виключений ручна праця.
2. Відсутність ручних робіт в зоні обертання печі бандажу.
3. Гідроциліндр кріпиться осями, що забезпечує його з'їм і перестановку на наступну опору.
4. Зменшується трудомісткість.
5. Гідроциліндр не обмежений по зусиллю зрушення опор.
6. Підвищується зручність обслуговування[14].

У патенті (№4- (19) UA (11) 107295 (13) U) розглядається винахід, який відноситься до конструктивного оформлення опорних або опорно-упорних станцій

обертових апаратів барабанного типу і може бути використана в сушильних, кристалізаційних, подрібнювальних, випалювальних та інших барабанних апаратах, зокрема в обертових печах для випалювання цементного клінкеру, керамзиту, перліту та інших сипких матеріалів в хімічній і гірничорудній галузях промисловості та промисловості будівельних матеріалів.

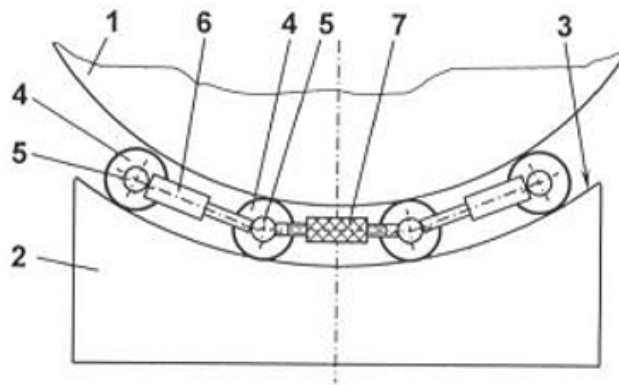


Рис. 3.4 Опорний пристрій обертового барабана

На рис. 3.4 Опорний пристрій обертового барабана 1 містить раму 2 з увігнутою опірною поверхнею 3, а також встановлені на ній ролики 4, осі 5 яких попарно з'єднані між собою поздовжніми елементами, кожний з яких виконано регульованої довжини. При цьому кожний з поздовжніх елементів може бути виконано у вигляді щонайменше двох телескопічних труб 6 або у вигляді нарізної стяжки 7, тобто подовженої гайки з різьбами протилежних напрямків на своїх кінцях (Фіг.).

Виконання кожного з поздовжніх елементів регульованої довжини забезпечує можливість впливу на напружено-деформований стан системи "ролики - бандаж (або обичайка) барабана", тим самим гарантуючи раціональний режим навантаження зазначених елементів, що підвищує надійність барабанного апарата в цілому. Конструктивно кожний з поздовжніх елементів може бути виконано у вигляді щонайменше двох телескопічних труб або у вигляді нарізної стяжки, що істотно спрощує процес змінювання довжини поздовжніх елементів, а отже, й відстані між сусідніми роликами[15].

У патенті (№5- (19) UA (11) 107295 (13) U) розглядається винахід, який відноситься до конструктивного оформлення опорних або опорно-упорних станцій обертових апаратів барабанного типу і може бути використана в сушильних, кристалізаційних, подрібнювальних, випалювальних та інших барабанних апаратах, зокрема в обертових печах для випалювання цементного клінкеру, керамзиту, перліту та інших сипких матеріалів в хімічній і гірничорудній галузях промисловості та промисловості будівельних матеріалів.

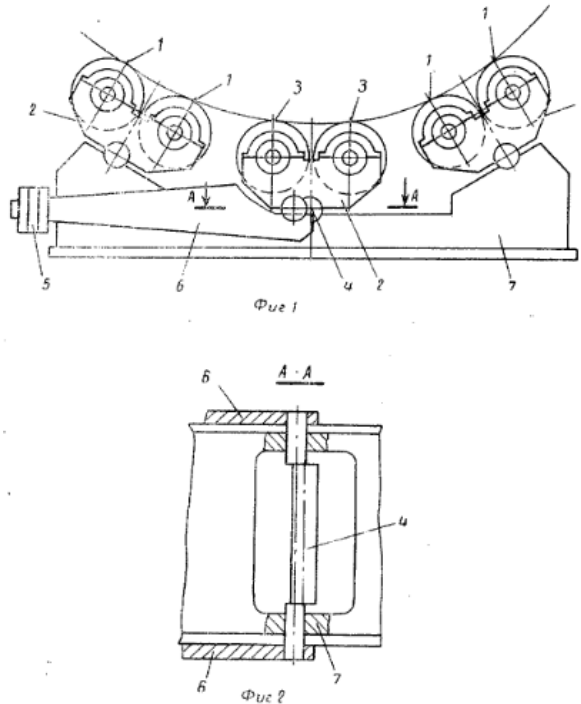


Рис. 3.5 Опорний пристрій обертового барабана

На рис. 3.5 На фіг 1. Зоюражена опора , загальний вигляд на фіг.2 – також , розріз по А-А на фіг.1

Опора складається з двох пар нерегульованих роликів 1 , встановлених на балансир 2, і регульованих роликів 3 (в даному випадку одна пара), які також встановлені на балансирі 2, шарнірно закріплені на ексцентриковому валу 4, оснащені ричагами 5 і пртивагами 6 і становлені в рамі.

Завдяки тому що балансир з роликами 3 закріплені на ексцентриковому валу 4 є можливість через ричаг 5 за допомогою противага 6 регулювати навантаження на ролики , знімаючи частину нагрздки з не регульованих роликів [16].

Метою роботи є знаходження та застосування інженерно-технічних рішень для підвищення ресурсу роботи основного конструктивного елементу корпусу обертового барабана – бандажа, та опірних роликів. Визначення раціональної конструкції опорних роликів і бандажа. Так як від роботи опірної пристрою залежить надійність пічного агрегата в цілому.

4 ВИБІР МОДЕРНІЗАЦІЇ

В результаті розробки конструктивно-технічних рішень для підвищення показників експлуатації обертової печі було подано заявку на видачу патенту України на корисну модель.

Модернізація опорного вузла базується на використанні патенту:

Корисна модель належить до конструктивного оформлення опірних або опірно-упорних станцій обертових апаратів барабанного типу і може бути використана в сушильних, кристалізаційних, подрібнювальних, випалювальних та інших барабанних апаратах, зокрема в обертових печах для випалювання цементного клінкеру, керамзиту, перліту та інших сипких матеріалів в хімічній і гірничорудній галузях промисловості та промисловості будівельних матеріалів.

Відома опора горизонтальної обертової печі, що містить раму на якій у відповідних шарнірно закріплених балансирах попарно встановлені ролики, середній з яких забезпечений ексцентриковим валом з важелями і противагами. [а.с. СРСР № 457859, МПК F27B 7/22, "Опорний пристрій барабана", опубл. 25.01.1975]. Недоліком цього пристрою є нерівномірний розподіл навантаження на ролики, що призводить до швидкого зносу окремих роликів, а також до несприятливого напруження бандажів та корпусу печі з яким вони взаємодіють.

Найближчим за технічною сутністю до пропонованого технічного рішення є опірний пристрій обертового барабана, що містить бандаж обертового барабану, раму з увігнутою опірною поверхнею і встановлені на ній ролики, осі яких попарно з'єднані між собою поздовжніми елементами кожний з яких виконано регульованої довжини у вигляді нарізної стяжки [UA № 107295, МПК F27B 7/22, "Опорний пристрій обертового барабана", опубл. 25.05.2016].

Недоліками вказаного опірного пристрою є складність налагодження при збереженні однакової величини опірного зусилля на кожному ролику, зокрема на крайніх і проміжних парах при обертанні бандажу. Це відбувається в першу чергу внаслідок суттєвого зношення футерівки в процесі роботи, особливо в кінці печі, де домінуючим навантаженням є вага оброблюваного матеріалу, а також зміна

діаметру обертового апарату в періоди нагріву і охолодження (пуску і зупинці) при розміщенні роликів на різних опірних станціях.

В основу корисної моделі поставлено завдання удосконалення опори обертового пристрою, шляхом створення рівномірного контакту між бандажем та опірними роликами, що забезпечує підвищення ресурсу роботи та довговічності опірних роликів та розширить технологічні властивості пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що в опірному пристрої обертового барабана, що містить раму з шарнірно закріпленими балансирами та встановленими на них роликами, згідно з пропонованою корисною моделлю, новим є те, що ролики сполучені регульованими тягами з можливістю зміни їх положення відносно осі обертання барабану.

Сутність корисної моделі пояснюється кресленням приведеним на Рис. 4.1. Опірний пристрій обертового барабана містить опірну раму 1, на якій за допомогою шарнірного закріплення 2 закріплений балансир 3. В балансирах 3 встановлені опірні ролики 4, що контактують з бандажем 5 і попарно з'єднані між собою поздовжніми тягами регульованої довжини, виконаних у вигляді стрижнів 6 та різьбової муфти 7.

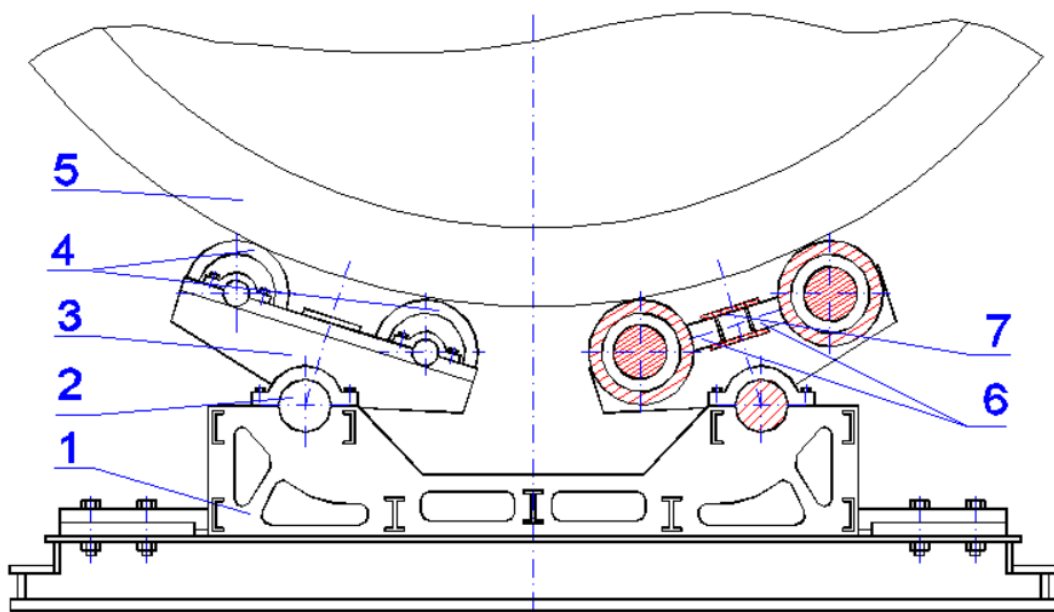


Рис. 4.1 Опорний пристрій обертового барабана

Опірний пристрій працює наступним чином:

При обертанні барабану бандаж 5 опирається на опірні ролики 4. Величина зусиль, які виникають в місцях контакту, залежить від режиму роботи, діаметру і маси обертового барабану. Опірні ролики розташовані в балансірі 3, який опирається через шарнірне закріплення 2 на опірну раму 1. Вісь повороту шарніра 2 перпендикулярна площині рами 1. Для ефективної роботи балансір 3 забезпечує постійний контакт між роликами 4 та бандажем 5, причому зусилля в роликах і відповідно в місці контактів з бандажем мають бути рівними за величиною, а опірні ролики 4 сполучні жорсткими тягами регульованої довжини в яких сусідні опірні ролики 4 з'єднані попарно.

З двох стрижнів 6, з'єднаних різьбовою муфтою 7, яка змінює довжину сполучних елементів, складається кожна тяга, вона регулює взаємне положення роликів, забезпечуючи потрібні відстані між сусідніми елементами, відстань може розраховуватись. Пропоноване технічне рішення забезпечує раціональний режим навантаження, що підвищує надійність барабанного апарата та розширює технологічні можливості пристрою. Таким чином, пропонований опірний пристрій забезпечує регулювання опірних роликів обертового барабана при зміні розмірів між осями роликів, що дає можливість збереження рівновеликої величини опірної зусилля на кожному ролику.

Технічне рішення підвищує ресурс роботи та довговічність опірних роликів, за рахунок зменшення контактних напружень та рівномірного розподілення навантаження, та розширює надійність барабанного апарата.

5 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

5.1 Параметричні розрахунки

Вихідні дані: піч, діаметр $D=6,5$ м, довжина $L=90$ м, частота обертання $n=1.3$ об/хв, нахил печі $i=4$ град, кількість опор - 4.

5.1.1 Продуктивність печі.

Виходячи з теплової потужності по формулі

$$\Pi = \frac{3,6 \times N_T}{q_n} = \frac{3,6 \times 119426}{3400} = 126 \text{ т/год};$$

де N_T — теплова потужність печі, по формулі

$$N_T = k_N \times D_{св}^2 \times L \times k_{II} = 38 \times 6^2 \times 90 \times 0,97 = 119426 \text{ КВт};$$

$k=38$; $D_{св}$ — діаметр печі у світлі,

$$D_{св} = D - 2 \times \delta = 6,5 - 2 \times 0,23 = 6,04 \text{ м};$$

δ — товщина футеровки в зоні спікання, $\delta=230$ мм; k_{II} — поправочний коефіцієнт, $k_{II}=0,97$; q_n — питома витрата тепла на випал клінкеру, $q_n=3400$ кДж/кг.

Теплова напруга в зоні спікання перевіряємо, використовуючи вираження

$$\sigma_T = \frac{4 \times N_T}{\pi \times D_{св}^2} = \frac{4 \times 119426}{3,14 \times 6^2} = 4226 \text{ КВт/м}^2.$$

Отриманий результат не перевищує припустимих значень (до 6000 кВт/м² для сухого способу виробництва).

Продуктивність печі як транспортуючого агрегату розраховуємо по формулі:

$$\Pi = \frac{\pi \times D_{св}^2}{4} \times \phi \times \rho_{ср} \times v_{ср} = \frac{3,14 \times 6^2}{4} \times 0,08 \times 1,2 \times 10^3 \times 58 = 157 \text{ т/год};$$

Тут середня швидкість руху матеріалу в печі

$$v_{ср} = \pi \times D_{св} \times i \times n \times 60 = 3,14 \times 6 \times 0,04 \times 1,3 \times 60 = 58 \text{ м/год};$$

середня щільність матеріалу $\rho_{ср}=1,2 \cdot 10^3$ кг/м³;

середній коефіцієнт заповнення перетину печі $\phi = 0,08$.

5.1.2 Потужність привода обертання печі.

Для визначення потужності розраховуємо моменти сил опору обертанню печі. Момент, викликаний нецентрово розташованим у печі матеріалом

$$M_1 = G_m \times a = 0,99 \times 10^6 \times 1,1 = 0,77 \times 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

де G_m — вага матеріалу в печі,

$$G_m = F_m \times \rho_{cp} \times g \times L = 2,26 \times 1,2 \times 10^3 \times 9,81 \times 90 = 2,3 \times 10^6 \text{ Н};$$

Площа матеріалу в печі

$$F_m = \frac{\pi \times D_{cp}^2}{4} \times \phi = \frac{3,14 \times 6^2}{4} \times 0,08 = 2,26 \text{ м}^2;$$

де a - відстань від вертикальної осі перетину печі до центра ваги перетину матеріалу, по формулі

$$a = R_0 \times \sin(\psi) = 2,52 \times \sin(27^\circ) = 1,14 \text{ м};$$

ψ -кут укосу матеріалу в печі, $\psi = 27^\circ$.

Відстань від центра ваги перетину матеріалу до осі обертання R_0 можна знайти за допомогою рис. 1.

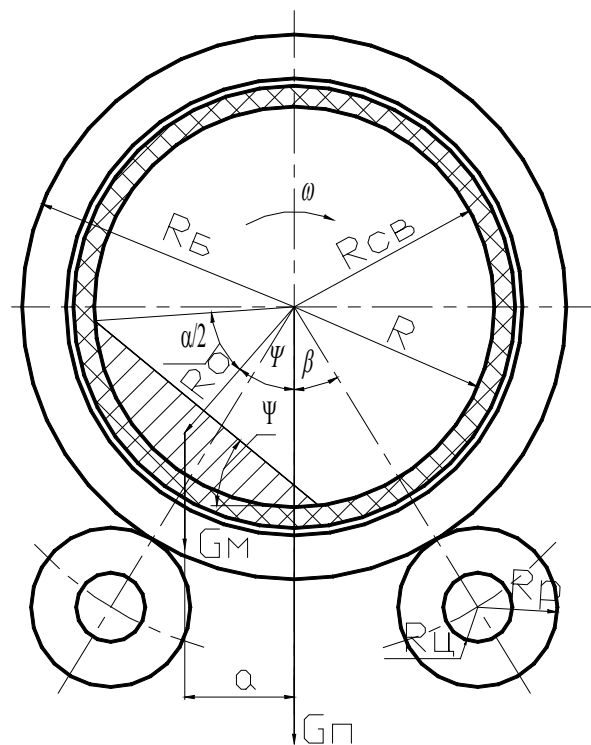


Рис. 5.1 Схема до визначення витрат потужності.

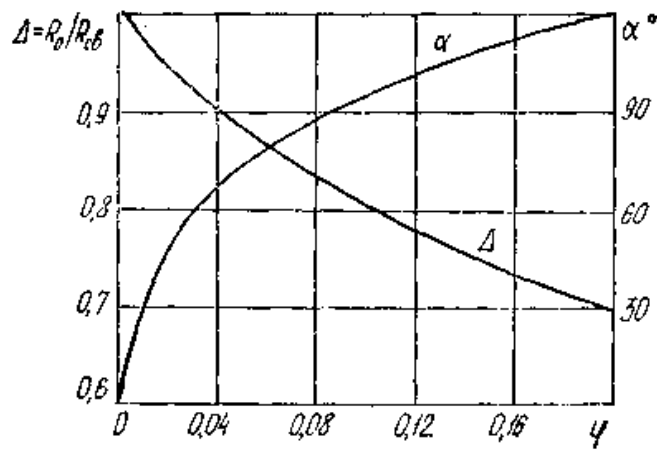


Рис. 5.2 Графік залежності Δ від ϕ .

Відповідно до графіка рис. 2. при $\phi = 0,08$,

$$\Delta = \frac{R_0}{R_{св}} = 0,84 ;$$

Оскільки

$$R_{св} = \frac{D_{св}}{2} = 3,0 \text{ м};$$

де

$$R_0 = R_{св} \times \Delta = 3,0 \times 0,84 = 2,52 \text{ м};$$

Момент сил тертя катання бандажа по роliках

$$M_2 = \frac{G_{об} \times \mu}{\cos(\beta) \times R_p} \times (R_p + R_{\bar{o}}) = \frac{16,5 \times 10^3 \times 0,0005}{\cos(32,5^\circ) \times 0,4} \times (0,4 + 1,34) = 2,04 \times 10^4$$

Н×м;

де $G_{об}$ — загальна вага печі,

β — кут установки роliків щодо вертикальної осі $\beta = 32,5^\circ$;

μ - коефіцієнт тертя катання бандажів по роliках, $\mu = 0,0005$ м;

Момент сил тертя в підшипниках роliкоопор, наведений до осі обертання печі, визначаємо по формулі:

$$M_3 = \frac{G_{об} + z \times G}{\cos(\beta)} \times f \times \frac{R_q}{R_p} \times R_{\bar{o}} = \frac{16,5 \times 10^3 + 2 \times 1,4 \times 10^5}{\cos(32,5^\circ)} \times 0,008 \times \frac{0,13}{0,4} \times 1,34 = 3 \times$$

10^5 Н×м;

Тут z_p — число опорних роliків, $z_p = 2$; G_p — вага одного роliка разом з віссю, $G_p = 1,4 \times 10^5$ Н; f — коефіцієнт тертя в конічних роliкопідшипниках опор, $f = 0,008$.

Необхідну потужність електродвигуна знаходимо по формулі:

$$N = \frac{(M_1 + M_2 + M_3) \times \omega}{1000 \times \eta_{\text{гл}}} = \frac{(5.94 \times 10^6 + 2.04 \times 10^3 + 3 \times 10^5) \times 0.165}{1000 \times 0.95} = 382 \text{ кВт};$$

де $\eta_{\text{гл}}$ — к. п. буд. привода, $\eta_{\text{гл}}=0,95$; ω - кутова швидкість печі, при максимальній частоті обертання $n=1,58$ об/хв,

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,1415 \times 1.58}{30} = 0.165 \text{ рад};$$

Приймаємо електродвигун АТ2-61-8 потужністю $N=400$ кВт і частотою обертання $n_{\text{дв}}=750$ об/хв.

Висновок: в результаті виконання параметричних розрахунків було визначено продуктивність обертової печі відповідно до її габаритних розмірів та типу оброблюваного матеріалу, а саме клінкеру. Та розраховано привід печі при роботі з матеріалом і визначено необхідний електродвигун АТ2-61-8 потужністю $N=400$ кВт і частотою обертання $n_{\text{дв}}=750$ об/хв.

5.2 Тепловий розрахунок

5.2.1 Вихідні дані.

Метою проведення розрахунків є визначення: питомої витрати тепла, розмірів циклонних теплообмінників та обертової печі. Розміри визначаються методами теплового розрахунку, а також аеродинамічного розрахунку циклонних теплообмінників. Показані взаємозв'язки теплових розрахунків циклонних теплообмінників і обертової печі.

Послідовність виконання розрахунків:

Визначити витрату повітря і вихід продуктів згоряння на $1 \text{ нм}^3/\text{кг}$ палива, вихід газоподібних продуктів випалу на 1 кг клінкера, кількість пилу, що проходить через циклонні теплообмінники на 1 кг клінкера.

Розрахувати тепловий баланс установки, з якого знайти питому витрату тепла, і потім кількість газів, що проходять через елементи установки.

Температури і тепломісткість газів на виході з циклонних теплообмінників і обертової печі визначити з рівнянь теплового балансу циклонних теплообмінників, а температуру вторинного повітря, що надходить у піч, — з теплового балансу холодильника.

Після цього з рівняння теплообміну в обортовій печі знайти її розміри.

Вихідні дані:

- число ступіней циклонних теплообмінників — 4;
- тип холодильника — колосниковий;
- продуктивність трубної установки $B_{кл} = 120$ т/ч;
- паливо — природний газ ;
- склад газу:

Склад газу

Таблиця 5.1

Газ	CO_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_6H_{12}	N_2
%	0,12	91,5	4,0	1,6	0,28	0,13	2,39

Вихідні данні

Таблиця 5.2

№	Параметр	Познач.	Значення
1	теплота згоряння газу	$Q_{низ}^p$	8929 ккал/нм^3 $= 37385,7$ кДж/нм^3
2	витрата сухої сировини на 1 кг клінкера	$G_m^{сух}$	$1,65 \text{ кг/кг кл;}$
3	втрати при прожарюванні сухої сировини (умовно приймаємо, що в (п.п.п) _м входить тільки CO_2^M з $CaCO_3^M$.) (п. п. п) _м		$35,5\%$;
4	вологість сировинної шихти	W_m	$1,0\%$;
5	ступінь дисоціації $CaCO_3$ у циклонних теплообмінниках	y	15% ;
6	температура пального газу, що надходить у пічну установку	t_2	$10^\circ C = 283 \text{ K;}$
7	кількість повітря, що надходить під ґрати холодильника	V_{ex}	$2,8 \text{ нм}^3/\text{кг кл;}$
8	температура пилу, що повертається в процес	$t_{пл}$	$40^\circ C = 313 \text{ K;}$
9	присос повітря через не щільності в голівці печі (від загальної кількості повітря, потрібного для горіння палива;)		5%
10	температура навколишнього повітря	t_6	$15^\circ C = 288 \text{ K;}$
11	середня температура сировинної шихти, що надходить у 1 циклон	t_m	$40^\circ C = 313 \text{ K;}$
12	температура газів на виході з 1 циклона	$t_2^{отх}$	$330^\circ C = 603 \text{ K;}$
13	температура клінкера на виході з холодильника	$t_{кл}^x$	$100^\circ C = 373 \text{ K;}$
14	температура надлишкового повітря, що	$t_6^{изб}$	$1700^\circ C = 1973$

	викидається з холодильника в атмосферу		K ;
15	тепловий ефект клінкероутворення	q_p	439,3 ккал/кг кл=1839,3 кДж/кг кл;
16	кількість первинного повітря (від загальної витрати повітря на горіння;)		25%
17	температура клінкера на виході з печі	$t_{кл}^n$	1200°C=1473 K;
18	коефіцієнт надлишку повітря:		
	за піччю		1,1
	перед IV циклоном		1,2
	за IV циклоном		1,3
	за III циклоном		1,4
	за II циклоном		1,5
	за I циклоном		1,6
19	коефіцієнт корисної дії електрофільтра	$\eta_{эф}$	0,95
20	коефіцієнт корисної дії циклонів:		
	I		0,9
	II		0,7
	III		0,7
	IV		0,7
21	втрати тепла в навколишнє середовище:		ккал/кгкл (кДж/кг кл)
	піччю		120 (502,4)
	пильною камерою		5 (21)
	I циклоном		4 (16,75)
	II циклоном		6 (25,1)
	III циклоном		8 (33,5)
	IV циклоном		10 (41,8)
	холодильником		10 (41,8)
22	віднесення пилу з печі в % від сухого матеріалу	z	15%

5.2.2 Витрата повітря на горіння і вихід продуктів горіння.

Теоретична витрата повітря:

$$[V_B^*] = 0,0238(4CH_4 + 7C_2H_6^P + 10C_3H_8^P + 13C_4H_{10}^P + 16C_5H_{12}^P) =$$

$$= 0,0238(4 \cdot 91,5 + 7 \cdot 4,0 + 10 \cdot 1,6 + 13 \cdot 0,28 + 16 \cdot 0,13) = 9,92 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}$$

Практична витрата повітря:

$$V_B^* = \alpha[V_B^*] = 9,92 \cdot 1,1 = 10,91 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}$$

Вихід продуктів горіння:

$$V_{CO_2}^{T*} = 0,01(CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12} + CO_2) =$$

$$= 0,01(91,5 + 2 \cdot 4,0 + 3 \cdot 1,6 + 4 \cdot 0,28 + 5 \cdot 0,13 + 0,12) = 1,06 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа};$$

$$V_{N_2}^{T*} = 0,79V_B^* + 0,01N_2 = 0,79 \cdot 10,91 + 0,01 \cdot 2,39 = 8,64 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа};$$

$$V_{O_2}^{T*} = 0,21(\alpha - 1)[V_B^*] = 0,21(1,1 - 1)9,92 = 0,208 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа};$$

$$\begin{aligned} V_{H_2O}^{T*} &= 0,01(2CH_4 + 3C_2H_4 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10} + 6C_5H_{12}) = \\ &= 0,01(2 \cdot 91,5 + 3 \cdot 4,0 + 4 \cdot 1,6 + 5 \cdot 0,28 + 6 \cdot 0,13) = 2,04 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа}. \end{aligned}$$

5.2.3 Вихід газоподібних продуктів із сировини.

Загальна кількість CO_2 , що виділилася із сировинної шихти:

$$G_{CO_2}^M = \frac{G_m^{cyx}(n.p.n.)_m}{100} = \frac{1,565 \cdot 35,5}{100} = 0,556 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{CO_2}^M = \frac{G_{CO_2}^M}{\gamma_{CO_2}} = \frac{0,556}{1,977} = 0,281 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

Кількість CO_2 , що виділилася в циклонному теплообміннику IV ступіні:

$$G_{CO_2}^{IV} = \frac{G_{CO_2}^M y}{100} = \frac{0,556 \cdot 15}{100} = 0,083 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{CO_2}^{IV} = \frac{G_{CO_2}^{IV}}{\gamma_{CO_2}} = \frac{0,083}{1,977} = 0,042 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

Кількість CO_2 , що виділилася в обертовій печі:

$$G_{CO_2}^{\Pi} = G_{CO_2}^M - G_{CO_2}^{IV} = 0,556 - 0,083 = 0,473 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{CO_2}^{\Pi} = V_{CO_2}^M - V_{CO_2}^{IV} = 0,281 - 0,042 = 0,239 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

Кількість водяної пари:

$$G_{H_2O}^M = \frac{G_m^{cyx} W_m}{100 - W_m} = \frac{1,565 \cdot 1,0}{100 - 1,0} = 0,0158 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{H_2O}^M = \frac{G_{H_2O}^M}{\gamma_{H_2O}} = \frac{0,0158}{0,805} = 0,019 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

5.2.4 Кількість пилу, що проходить через циклонні теплообмінники.

Кількість пилу, що унесуть гази з обертової печі:

$$G_{nl}^{\Pi} = \frac{(1+G_{CO_2}^{\Pi})z}{1-z} = \frac{(1,0+0,473)15}{100-15} = 0,26 \text{ кг/кгкл.}$$

Кількість пилу, що осіла в циклоні IV ступіні:

$$G_{oc}^{IV} = 1,0 + G_{CO_2}^{\Pi} + G_{nl}^{\Pi} = 1,0 + 0,473 + 0,26 = 1,733 \text{ кг/кгкл.}$$

Загальна кількість пилу, що надходить у циклон IV ступіні:

$$G_{ob}^{IV} = \frac{G_{oc}^{IV} + G_{CO_2}^{IV}}{\eta_{цик}} = \frac{1,733 + 0,083}{0,7} = 2,594 \text{ кг/кгкл.}$$

Кількість пилу, що виходить з IV циклона з газами:

$$G_{вых}^{IV} = G_{ob}^{IV} - G_{oc}^{IV} - G_{CO_2}^{IV} = 2,594 - 1,733 - 0,083 = 0,778 \text{ кг/кгкл.}$$

Результати розрахунку потоків матеріалу в циклонах зведені в табл 2.1

Практична витрата повітря на горіння:

$$V_B = V_B^* V_T \approx 10,91 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість повітря, що присмоктується через голівку печі:

$$V_B^{\Gamma\Pi} = 0,05 V_B = 0,05 \cdot 10,91 V_T = 0,545 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість повітря, що присмоктується за піччю по тракті циклонів:

$$V_B^{XK} = [V_B^*](\alpha_{цик}^I - \alpha_n) V_T = 9,92(1,6 - 1,1) V_T = 4,96 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Загальна кількість повітря, що надходить у пічну установку:

$$V_B^{ob} = V_{B.X} + V_B^{\Gamma.K} + V_B^{X.K} = 2,8 + 0,545 V_T + 4,96 V_T = 2,8 + 5,5 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість надлишкового повітря, що викидається в атмосферу:

$$V_B^{изб} = V_{B.X} + V_B^{\Gamma.K} - V_B = 2,8 + 0,545 V_T - 10,91 V_T = 2,8 - 10,365 V_{Tнм}^3 / \text{кгкл.}$$

5.2.5 Тепловий баланс пічної установки.

Тепло згоряння палива:

$$q_{\Pi} = V_T Q_{низ}^P = V_T \cdot 8929 \text{ ккал/кгкл} = V_T \cdot 37386 \text{ кДж/кгкл.}$$

Фізична тепломісткість палива:

$$q^{\phi} = V_T c_T t_T = V_T \cdot 0,385 \cdot 10 = 3,85 V_T.$$

Тепломісткість сировини:

$$q_M = (G_M^{cux} c_M + G_w^M) t_M = (1,565 \cdot 0,22 + 0,0158) \cdot 40 = 14,5 \text{ ккал/кг кл} \\ = 60,7 \text{ кДж/кг кл.}$$

Тепломісткість повітря:

$$q_B = V_a^{ob} c_B t_B = (2,8 + 5,5 V_T) \cdot 0,31 \cdot 15 = 13,0 + 25,6 V_T \text{ ккал/кг кл} = \\ = 54,4 + 107,2 V_T \text{ кДж/кг кл.}$$

Тепловий ефект клінкероутворення:

$$q_P = 439,3 \text{ ккал/кг кл} = 1839,3 \text{ кДж/кг кл.}$$

Втрата тепла на випар води із сировини:

$$q_w^M = G_w^M \cdot 595 = 0,0158 \cdot 595 = 9,4 \text{ ккал/кг кл} = 39,4 \text{ кДж/кг кл.}$$

Втрата тепла з газами, що відходять:

$$q_{\Gamma}^{OTX} = [(V_{CO_2}^T + V_{CO_2}^M) c_{CO_2} + V_{N_2}^T c_{N_2} + V_{O_2}^T c_{O_2} + (V_{H_2O}^T + V_{H_2O}^M) c_{H_2O} + V_B^{X.K} c_B] t_{\Gamma}^{OTX} = \\ = [(1,06 V_T + 0,281) 0,4535 + 8,68 V_T \cdot 0,3136 + 0,208 V_T \cdot \\ \cdot 0,3255 + (2,04 V_T + 0,019) 0,3685 + 4,96 V_T \cdot 0,316] 330 \\ = 1843 V_T + 44,3 \text{ ккал/кг кл} = \\ = 7716,6 V_T + 185,5 \text{ кДж/кг кл.}$$

Втрата тепла з віднесенням:

$$q_{\Pi\Lambda} = \eta_{\Phi} 0,29 c_{\Pi\Lambda} (t_{\Gamma}^{OTX} - t_{\Pi\Lambda}) + (1 - \eta_{\Phi}) 0,29 c_{\Pi\Lambda} t_{\Gamma}^{OTX} = \\ = 0,95 \cdot 0,29 \cdot 0,25 (330 - 40) + (1 - 0,95) \cdot 0,29 \cdot 0,25 \cdot 330 = 21,1 \text{ ккал/кг кл} = \\ 88,3 \text{ кДж/кг кл.}$$

0,29 кг/кг кл — кількість пилу, що уносять гази з І циклона (табл. 2.1).

Втрата тепла з клінкером:

$$q_{KL} = c_{KL} t_{KL} = 0,188 \cdot 100 = 18,8 \text{ ккал/кг кл} = 78,7 \text{ кДж/кг кл.}$$

Втрата тепла з повітрям, що викидається з холодильника:

$$q_B^{ИЗБ} = V_B^{ИЗБ} c_B t_B^{ИЗБ} = (2,8 - 10,365 V_T) \cdot 0,31 \cdot 170 = 147 - 546 V_T.$$

Втрата тепла в навколишнє середовище $q_{\text{пот}} = 163 \text{ ккал/кг кл} = 682,5 \text{ кДж/кг кл}$. З рівняння теплового балансу визначаємо значення V_T :

$$8929 V_T + 3,85 V_T + 14,5 + 13,0 + 25,6 V_T \\ = 439,3 + 9,4 + 1843 V_T + 44,3 + 21,1 + 18,8 + \\ + 147 - 546 V_T + 163;$$

$$V_T = 0,1064 \text{ нм}^3/\text{кг кл.}$$

Питома витрата тепла на випал:

$$q_{II} = Q_{III}^P V_T = 8929 \cdot 0,1064 = 950 \text{ ккал/кгкл} = 3977,7 \text{ кДж/кгкл.}$$

Потоки матеріалу в циклонах

Таблиця 5.3

Найменування	Одиниця виміру	I циклон	II циклон	III циклон	IV циклон	Курна камера	Обертюва піч
Кількість пилу, що поступає з газами	кг/кг кл	1,1	1,0	0,778	0,26	-	-
Кількість пилу, що поступає з наступного циклона чи з бункера сировинної шихти	кг/кг кл	1,84	2,65	2,556	2,334	-	-
Загальна кількість пилу, що надходить у циклон	кг/кг кл	2,94	3,65	3,334	2,594	-	-
Кількість відкладеного у циклоні пилу	кг/кг кл	2,65	2,556	2,334	1,733	-	-
Кількість пилу, що виходить з циклона з газами	кг/кг кл	0,29	1,1	1,0	0,778	-	-

Статті теплового балансу зведені в табл. 5.2

Тепловий баланс

Таблиця 5.4

Прихід тепла			Витрата тепла		
Найменування	кДж/кг кл	%	Найменування	кДж/кг кл	%
Тепло від згоряння палива	3977,7	96,9	Теоретичне тепло клінкероутворення	1839,3	44,8
			Втрата тепла на випар води	39,6	0,99
Фізична тепломісткість палива	1,7	0,04	Втрата тепла з	1006,1	24,52

Тепломісткість сировини	60,7	1,46	газа-ми, що відходять		
Тепломісткість повітря	66,2	1,6	Втрата тепла з віднесенням	88,3	2,15
			Втрата тепла з клінкером	78,7	1,9
			Втрата тепла з повітрям, що викидається з холодильника	371,8	9,04
			Втрата тепла в навколишнє середовище	682,5	16,6
Разом	4106,3	100	Разом	4106,3	100

5.2.6 Розміри обертової печі.

Тепломісткість повітря і палива, що надходять у піч:

$$q'_G = q_{B_2} + V_B^{G.K} c_B t_B + q_{B_1} + q_T^\Phi = 175,3 + 0,058 \cdot 0,31 \cdot 15 + 15,3 + 0,4 = 191,3 \text{ ккал/кгкл} = 801 \text{ кДж/кгкл};$$

- на 1 нм^3 газового палива:

$$q_{G'}^* = \frac{q'_G}{V_T} = \frac{191,3}{0,1064} = 1794 \text{ ккал/нм}^3 \text{ топл} = 7511,5 \text{ кДж/нм}^3 \text{ топл};$$

- тепломісткість газів, що відходять з печі, і пилу:

$$q_G^H = t_G^H (V_{CO_2}^H c_{CO_2} + V_{N_2}^H c_{N_2} + V_B^H c_B + V_{H_2O}^H c_{H_2O} + G_{ПЛ}^H c_{ПЛ}) = 1030(0,352 \cdot 0,5324 + 0,835 \cdot 0,334 + 0,104 \cdot 0,335 + 0,216 \cdot 0,412 + 0,26 \cdot 0,25) = 676 \text{ ккал/кгкл} = 2830,4 \text{ кДж/кгкл}.$$

Ступінь тепловикористання по формулі:

$$\eta_{ТЕП} = \frac{q_{II} + q'_G + q_G^H}{q_{II} + q'_G} = \frac{950 + 191,3 - 676}{950 + 191,3} = 0,41.$$

Теоретична температура горіння.

Тепломісткість продуктів горіння:

$$Q_{НИЗ}^P + q_{Г}^{*} = 8929 + 1794 = 10723 \text{ ккал/нм}^3 \text{ топл} = 44897,2 \text{ кДж/нм}^3 \text{ топл}.$$

Теоретична температура визначається по методу підбора.

Тепломісткість продуктів горіння при температурі 2300° С:

$$\begin{aligned} V_{CO_2}^T J_{CO_2} + V_{N_2}^T J_{N_2} + V_{O_2}^T J_{O_2} + V_{H_2O}^T J_{H_2O} \\ = 1,06 \cdot 1354,7 + 8,64 \cdot 825,7 + 0,208 \cdot 874 + \\ + 2,04 \cdot 1099,4 = 11002 \text{ ккал/нм}^3 \text{ топл} = 46065,4 \text{ кДж/нм}^3 \text{ топл}. \end{aligned}$$

Тепломісткість продуктів горіння при температурі 2200°С = 2473К - 10463 ккал/нм³ топл = 43808,6 кДж/нм³ топл.

Шукана теоретична температура горіння складає:

$$\begin{aligned} t_{ТЕОР} = 2200 + \frac{10723 - 10463}{11002 - 10463} \cdot 100 = 2248^{\circ}C = 2521K; \\ T_{ТЕОР} \approx 2520^{\circ}K. \end{aligned}$$

Теплова потужність печі:

$$\theta_{П} = q_{П} B_{КЛ} \cdot 1000 = 950 \cdot 38 \cdot 10^3 = 36,1 \cdot 10^6 \text{ ккал/ч} = 42 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Поверхню теплообміну визначаємо по формулі:

$$\begin{aligned} \eta_{ТЕП} = 0,124 \left(\frac{\sigma T_{ТЕОР}^4 F_{П}}{\theta_{П}} \right)^{\frac{1}{3}}; \\ 0,41 = 0,124 \left(\frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 2520^4 F_{П}}{36,1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{3}}, \end{aligned}$$

звідки внутрішня поверхня печі $F_{П} = 670 \text{ м}^2$.

Питома продуктивність печі:

$$\frac{1000 B_{КЛ}}{F_{П}} = \frac{38 \cdot 10^3}{670} = 56,7 \text{ кг/м}^2 \text{ ч}.$$

Внутрішній діаметр печі по формулі:

$$\theta_{П} = 1,5 D_{П}^2 \sqrt{D_{П}} \cdot 36,1 \cdot 10^6 = 1,5 D_{П}^2 \sqrt{D_{П}},$$

звідки $D_{П} = 6,5 \text{ м}$.

Зовнішній діаметр печі з урахуванням товщини футеровки складе $d_{П} = 6,0 \text{ м}$.

Величина

$$1000 \frac{B_{\text{кл}}}{D_{\text{п}}^3} = \frac{38 \cdot 10^3}{3,6^3} = 815 \text{ кг/м}^3 \text{ ч,}$$

що не перевищує значення, припустиме за умовами клинкероутворення.

Довжина печі:

$$L_{\text{п}} = \frac{F_{\text{п}}}{\pi D_{\text{п}}} = \frac{1217}{3,14 \cdot 6,5} = 89,3 \text{ м.}$$

Висновок: визначений тепловий баланс обертової печі з циклонними теплообмінниками порівняні прихід та втрати тепла, зокрема втрати тепла з клінкером; визначена теоретична температура горіння та розміри обертової печі.

5.3 Розрахунки на міцність

5.3.1 Розрахунок опорно-ходової частини

Контактні напруги в парі бандаж-ролик визначаються залежністю:

$$\sigma_k = 0,418 \times \sqrt{\frac{P \times E}{b} \times \frac{(R_{\delta} + R_p)}{R_{\delta} \times R_p}} = 0,418 \times \sqrt{\frac{2194 \times 10^3 \times 2 \times 10^{11}}{0,15} \times \frac{(2,5 + 0,4)}{2,5 \times 0,4}} =$$

471,3 МПа;

де P - максимальне навантаження на опорний ролик при максимальному навантаженні на опору,

$$P = \frac{Q_{\text{max}}}{2 \times \cos(\beta)} \frac{3700}{2 \times \cos(32,5^\circ)} \text{ кН;}$$

Q_{max} — максимальне навантаження на опору, $Q_{\text{max}} = 3700$ кН;

E — модуль пружності матеріалу бандажа й ролика, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па;

b - ширина бандажа, $b = 0,150$ м.

Контактні напруги, що допускають

$$[\sigma_k]' = 4,9 \times \text{НВ} \times (1 - 0,001 \times \text{НВ}) = 4,9 \times 160 \times (1 - 0,001 \times 160) = \\ = 660 \text{ МПа} > \sigma_k = 471,3 \text{ МПа.}$$

Тут НВ-твердість робочих поверхонь бандажа й ролика по Бринелю, НВ=160.

Висновок: так як контактні напруження які виникають парі бандаж-ролик становлять $\sigma_k=471,3$ МПа та не перевищують допустимі $[\sigma_k]'=660$ МПа то таку конструкцію можна вважати працездатною.

5.3.2 Розрахунок вісі опорного ролика

Визначимо напругу в перетинах I, II по формулі й запаси міцності в цих перетинах (схему навантаження див. рис. 3.1).

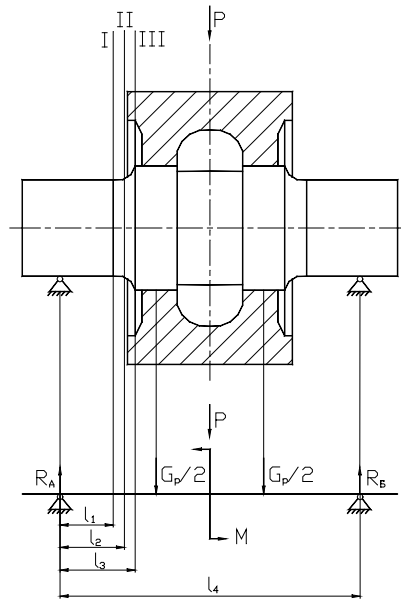


Рис. 5.3 Схема навантаження осі опорного ролика.

$$A=P \times f_c=1500 \times 10^3 \times 0,2=300 \times 10^3 \text{ Н};$$

де f_c — коефіцієнт тертя сталі по сталі, $f_c=0,2$.

Згинальний момент від осьової сили

$$M=A \times R_p=492 \times 10^3 \times 0,6=295,2 \times 10^3 \text{ Н} \times \text{м};$$

Максимальну реакцію опор знаходимо по формулі:

$$R_A = \frac{P}{2} + \frac{G_p}{2} + \frac{M}{l} = \frac{2194 \times 10^3}{2} + \frac{1,4 \times 10^5}{2} + \frac{120 \times 10^3}{22} = 1600 \times 10^3 \text{ Н};$$

Тут l - відстань між опорами, приймаємо $l=4,6$ м.

Моменти опору перетинів I, II:

$$W_I=0,1d_I^3=0,1 \times 320^3=3,3 \times 10^7 \text{ мм}^3;$$

$$W_{II}=0,1d_{II}^3=0,1 \times 345^3=4,1 \times 10^7 \text{ мм}^3;$$

Тут d d_{II} - діаметри осі в перетинах I, II, $d=320$ мм, $d_{II}=345$ мм.

Нормальні напруги в перетині I визначимо по вираженню

$$\sigma = \frac{R_A \times l_I}{W_I} = \frac{1600 \times 10^3 \times 190}{3,3 \times 10^7} = 9,2 \text{ МПа};$$

Запас міцності отримуємо по формулі з урахуванням ослаблення перетину жолобником:

$$n = \frac{\sigma_{-1} \times k_d \times k_v}{\sigma \times k_\sigma} = \frac{250 \times 0,5 \times 1}{9,2 \times 2,5} = 5,4;$$

де $\sigma_{-1}=250$ МПа (сталь 40Х); k_σ k_d k_v - ефективні коефіцієнти концентрації напруги для жолобника, впливу абсолютних розмірів поперечного переріза (масштабний фактор), впливу стану поверхневого зміцненого шару. Для визначення коефіцієнтів приймемо радіус жолобника $r=20$ мм, тоді

$$r/d_{II}=20/320=0,0625;$$

$$d_I/d_{II}=1000/345=2,8985;$$

Знаходимо коефіцієнт концентрації напруги: при виготовленні осі зі сталі 40Х $\sigma_B=600$ МПа, $k_\sigma=2,5$. Одержуємо коефіцієнт впливу абсолютних розмірів, $k_d=0,5$. Коефіцієнт впливу поверхневого зміцнення $k_v=1$.

Висновок: У перетині I запас міцності більше припустимого $[n]=1,5$. В інших перетинах запаси міцності ще більше.

5.3.3 Розрахунок бандажів

Максимальний згинальний момент у перетині бандажа над опорним роликом визначимо по формулі:

$$M_{из}=a_6 \times Q_{max} \times R=0,08 \times 3700 \times 10^3 \times 0,6=0,42 \times 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

де R - внутрішній радіус бандажа, $R=0,6$ м.

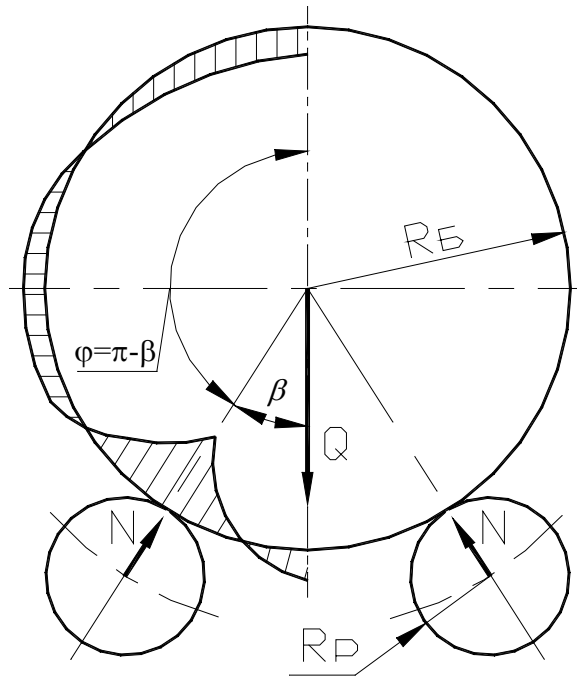


Рис.5.4 Епюра згинальних моментів для кільця, навантаженого ваговим центральним навантаженням й опорними реакціями.

Момент опору перетину бандажа

$$W_{\bar{o}} = \frac{b_{\bar{o}} \times h^2}{6} = \frac{0,38 \times 0,165^2}{6} = 0,0436 \text{ м}^3 ;$$

Тут $b_{\bar{o}}$ - ширина бандажа, $b_{\bar{o}}=1.2$ м; h - товщина бандажа,

$$h=R_{\bar{o}}-R=1,365-1,2=0,165 \text{ м};$$

Максимальні напруги вигину

$$\sigma_u = \frac{M_{uz}}{W} = \frac{0,36 \times 10^6}{0,002} = 180 \text{ МПа};$$

Необхідні для без соромної сполуки нагрітих бандажа й підбандажної обичайки теплові кільцеві зазори визначаємо на опорі 1 (у холодній зоні) і на опорі 2 (у гарячій) по рівнянню:

$$\Delta_x = 2 \times \alpha \times (R_k \times t_k^x - R_{\bar{o}.c} \times t_{\bar{o}}^x) = 2 \times 12 \times 10^{-6} \times (1,2 \times 100 - 1,283 \times 50) = 1,4 \times 10^{-3} \text{ м};$$

$$\Delta_F = 2 \times \alpha \times (R_k \times t_k^c - R_{\bar{o}.c} \times t_{\bar{o}}^c) = 2 \times 12 \times 10^{-6} \times (1,2 \times 350 - 1,283 \times 200) = 3,9 \times 10^{-3} \text{ м};$$

Тут α - коефіцієнт лінійного розширення для сталі, $\alpha=12 \cdot 10^{-6}$;

R_k - зовнішній радіус під бандажної обичайки з урахуванням товщини прокладок, $R_k=R=0,7$ м; $R_{б.с.}$ - середній радіус бандажа,

$$R_{б.с.} = \frac{R_6 + R}{2} = \frac{0,75 + 0,7}{2} = 0,72 \text{ м};$$

$t_k^x, t_6^x, t_k^r, t_{6-температури}$ корпусу й бандажа в холодній і гарячій зонах, відповідно до рекомендацій приймаємо $t_k^x=100$ °С, $t_6^x=50$ °С, $t_k^r=350$ °С, $t_6^r=200$ °С.

Знайдені значення теплового зазору забезпечують без соромна сполука бандажа й під бандажної обичайки в нагрітому стані з нульовим натягом. Якщо прийняти зазори на $\Delta = 4$ мм менше, те забезпечиться посадка бандажа на під бандажну обичайку з тепловим натягом. При цьому відповідно до формули максимально можливий питомий тиск

$$q_T = \frac{\delta}{\frac{\alpha_1 - \mu_1}{E_1} - \frac{\alpha_2 - \mu_2}{E_2}} = \frac{0,88 \times 10^{-3}}{\frac{16,5 - 0,3}{1,8 \times 10^{11}} - \frac{5,8 - 0,3}{1,8 \times 10^{11}}} = 2,25 \text{ МПа};$$

де δ - відносний натяг,

$$\delta = \frac{\Delta}{2 \times R} = \frac{1,4 \times 10^{-3}}{2 \times 1,1} = 0,001 \text{ м};$$

$$\alpha_1 = \frac{1 + c_1^2}{1 - c_1^2} = \frac{1 + 0,94^2}{1 - 0,94^2} = 16,5;$$

$$\alpha_2 = \frac{1 + c_2^2}{1 - c_2^2} = \frac{1 + 0,84^2}{1 - 0,84^2} = 5,8;$$

$$c_1 = \frac{D_6}{D} = \frac{2,25}{2,4} = 0,94;$$

$$c_2 = \frac{D}{D_n} = \frac{2,4}{2,73} = 0,84;$$

D - внутрішній діаметр бандажа, $D=2 \times R=2 \times 0,7=1,4$ м; D_n - зовнішній діаметр бандажа, $D_n=2R_6=2 \times 0,75=1,5$ м; D_b - внутрішній діаметр під бандажної обичайки, $D_b=1,5$ м; E - модуль пружності для сталі при температурі близько 200 °С, $E_1=E_3=1,8 \times 10^{11}$ Па; μ - коефіцієнт Пуассона для матеріалу бандажа й під бандажної обичайки, $\mu_1=\mu_2=0,3$.

Далі визначаємо напруги в бандажі, викликувані тепловим натягом. Напруги на внутрішній поверхні бандажа одержуємо, використовуючи рівняння:

нормальне

$$\sigma_0^e = \frac{1 + c_2^2}{1 - c_2^2} \times q_T = \frac{1 + 0,84^2}{1 - 0,84^2} \times 2,25 = 13,04 \text{ МПа};$$

радіальне

$$\sigma_r^e = -\sigma_T = -2,25 \text{ МПа};$$

Напруги на зовнішній поверхні бандажа знаходимо по формулі нормальне

$$\sigma_0^H = \frac{2 \times c_2^2}{1 - c_2^2} \times q_T = \frac{2 \times 0,84^2}{1 - 0,84^2} \times 2,25 = 10,78 \text{ МПа};$$

радіальне

$$\sigma_r^H = 0.$$

Еквівалентні напруги на внутрішній поверхні бандажа

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{(\sigma_0^e + \sigma_u)^2 - (\sigma_u^e)^2 - (\sigma_r^e + \sigma_u) \times (\sigma_r^e)} = \\ \sqrt{(13,04 + 180)^2 + (-2,25)^2 - (10,78 + 180) \times 2,25} = 140,2 \text{ МПа};$$

Напруги, що допускаються, при виконанні бандажа зі сталі 20 ГСЛ $[\sigma] = 250 \text{ МПа}$ (забезпечується запас міцності більше 1,5).

5.3.4 Розрахунок гідроупорів

Сила, необхідна для переміщення печі гідроупорами:

$$p'_{c.d.} = G_{об} \cdot i = 38,35 \cdot 10^6 \cdot 0,035 = 1,34 \cdot 10^6 \text{ Н};$$

Умовно вважаємо, що ця сила повинна створюватися двома гідроупорами.

$$p_{c.d.} = p'_{c.d.} / 2 = 1,34 / 2 = 0,67 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Контактні напруга в парі бандаж – завзятий ролик:

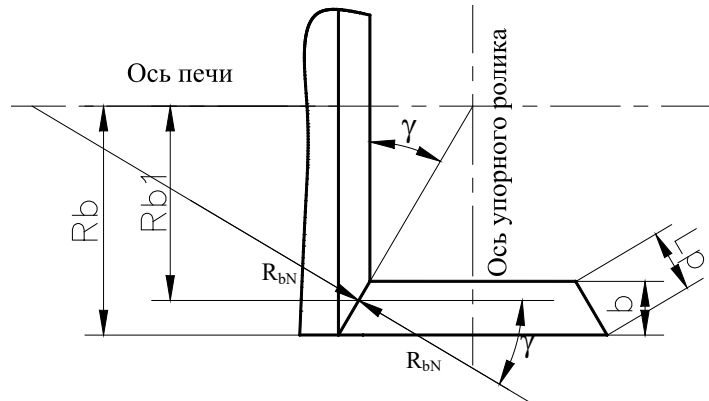
$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{q \cdot E \cdot \frac{R_{\sigma}^H + R_p^H}{R_{\sigma}^H \cdot R_p^H}} = 0,418 \cdot \sqrt{21,68 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot \frac{14,6 + 0,58}{14,6 \cdot 0,58}} \\ = 4,09 \cdot 10^8 \text{ Па} = 409 \text{ МПа}$$

Тут q – тиск у парі бандаж – завзятий ролик, $q = \frac{P_{c.d.}}{b} = \frac{0,67 \cdot 10^6}{0,19} = 2,68 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$; $b = 0,19 \text{ м}$ - ширина завзятого ролика;

R_{σ}^H, R_p^H - радіуси поверхонь качення бандажа і ролика в площині, нормальній до лінії їхнього контакту.

бандажа:

$$R_{cp}^{\delta} = R_{\delta} - \frac{b}{2} = 2,08 - \frac{0,19}{2} = 2,86m.$$



бандаж - упорный ролик.

Тоді при радіусі завзятого ролика $R_{p.y.} = 0,6 \text{ м}$, одержимо:

$$tg\gamma = \frac{R_{p.y.}}{R_{\delta}} = \frac{0,6}{2,98} = 0,2;$$

$$\gamma = \text{arct}g_{0,2} = 11,1^0;$$

$$R_{\delta}^H = \frac{R_{cp}^{\delta}}{\sin \gamma} = \frac{2,86}{\sin 11,1^{\circ}} = 14,6m;$$

$$R_p^H = \frac{R_{cp}^{\delta} \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\cos \gamma} = \frac{2,86 \cdot 0,2}{\cos 11,1^{\circ}} = 0,58m;$$

завзятого ролика НВ (160 складає, як було визначено раніше, $[\sigma_{до}] = 660 \text{ Мпа} > \sigma_{до} = 409 \text{ Мпа}$.

внутрішньому $d_0 = 0,15$ м перевіряємо в перетині, де циліндрична частина переходить у конічну. Згинальний момент у цьому перетині:

$$M_1 = P_{c.d.} \cdot (h - h_1) = 0,67 \cdot 10^6 \cdot (0,422 - 0,3295) = 0,62 \cdot 10^5 H \cdot m,$$

де $h = 0,422 \text{ м}$; $h_1 = 0,3295 \text{ м}$.

Момент опору цього перетину:

$$W_1 = 0,1 \cdot \frac{D_0^4 - d_0^4}{D_0} = 0,1 \cdot \frac{(0,53^4 - 0,15^4)}{0,53} = 14,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Напруга вигину:

$$\sigma = \frac{M_1}{W_1} = \frac{0,62 \cdot 10^5}{14,8 \cdot 10^{-3}} = 4,2 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 4,2 \text{ МПа}$$

Напруги, що допускаються, приблизно на порядок вище, тому запас міцності не визначаємо через малі напруги в перетині. В інших перетинах напруги будуть ще менше.

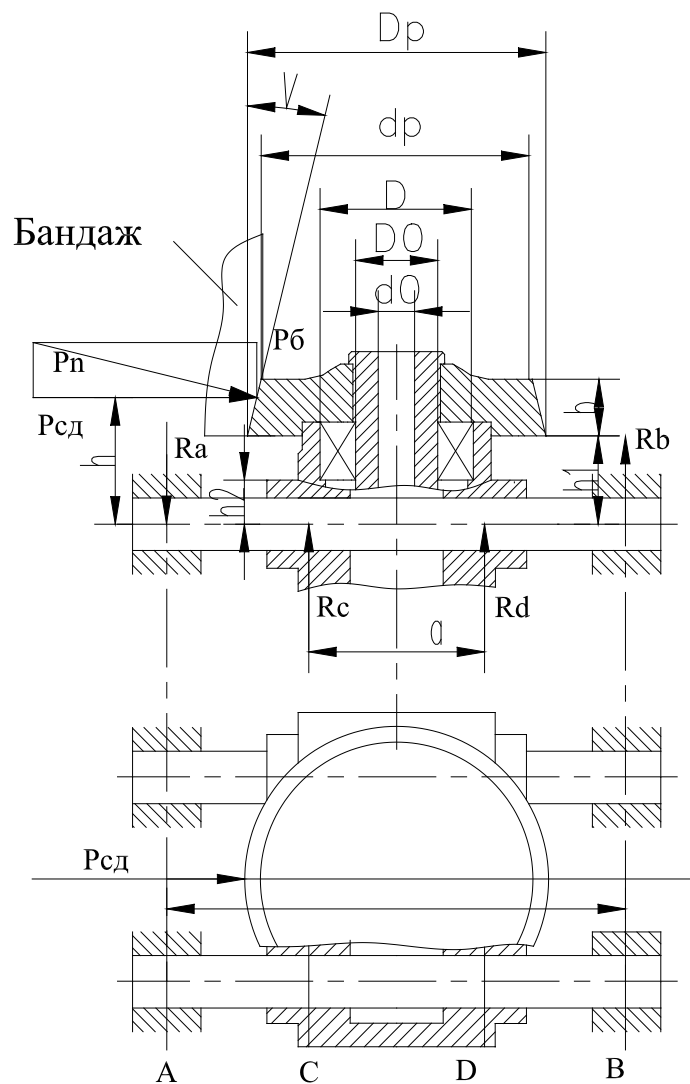


Рис. 5.6 Розрахункова схема упорного ролика

Перевірку міцності напрямних завзятого ролика робимо для випадку, коли ролик знаходиться посередині направляючої. Для визначення max згинаючого

моменту, що діє в перетині \mathcal{D} , знаходимо зусилля R_c , R_d при наступних геометричних розмірах:

$$a = 0,8\text{м}; d_{p.y.} = D_{p.y.} - 2 \cdot b \cdot tg\gamma = 1,1 - 2 \cdot 0,19 \cdot 0,2 = 1,024\text{м}; l = 1,2\text{м}.$$

Тоді одержимо такі зусилля:

$$R_c = \frac{P_{c.d.} \cdot h}{2 \cdot a} - \frac{P_\epsilon}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{D_{p.y.} + d_{p.y.}}{4} + \frac{a}{2} \right) = \frac{0,67 \cdot 10^6 \cdot 0,422}{2 \cdot 0,8} -$$

$$- \frac{1,34 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,8} \cdot \left(\frac{1,1 + 1,024}{4} + \frac{0,8}{2} \right) = 0,99 \cdot 10^5 H;$$

$$R_d = \frac{P_{c.d.} \cdot h}{2 \cdot a} - \frac{P_\epsilon}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{D_{p.y.} + d_{p.y.}}{4} - \frac{a}{2} \right) = \frac{0,67 \cdot 10^6 \cdot 0,422}{2 \cdot 0,8} -$$

$$- \frac{1,34 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,8} \cdot \left(\frac{1,1 + 1,024}{4} - \frac{0,8}{2} \right) = 1,66 \cdot 10^5 H;$$

$$R_A = \frac{R_c}{1,2} \cdot \left(a + \frac{l-a}{2} \right) - \frac{(l-a) \cdot R_d}{2 \cdot l}$$

$$= \frac{0,99 \cdot 10^5}{1,2} \cdot \left(0,8 + \frac{1,2-0,8}{2} \right) - \frac{(1,2-0,8) \cdot 1,66 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,2} = 5,5 \cdot 10^4 H;$$

$$R_B = \frac{R_d}{1,2} \cdot \left(a + \frac{l-a}{2} \right) - \frac{(l-a) \cdot R_c}{2 \cdot l}$$

$$= \frac{1,66 \cdot 10^5}{1,2} \cdot \left(0,8 + \frac{1,2-0,8}{2} \right) - \frac{(1,2-0,8) \cdot 0,99 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,2}$$

$$= 12,1 \cdot 10^4 H;$$

Тут P_ϵ – вертикальна складова сили, що зрушує $P_\epsilon = P_{c.d.} \cdot tg\gamma = 0,67 \cdot 10^6 \cdot 0,2 = 1,34 \cdot 10^5 H$, Вага завзятого ролика $G_p = 19,6$ (103 Н значно менше зусиль $P_{c.d.}$, P_ϵ , тому без великої погрішності їм можна зневажити.

Максимальний згинальний момент буде діяти в перетині B :

$$M_\epsilon = R_\epsilon \cdot \frac{l-a}{2} = 12,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1,2-0,8}{2} \right) = 2,42 \cdot 10^4 H \cdot \text{м}.$$

Момент опору перетину направляючої з діаметром $d_n = 0,5$ м дорівнює:

$$W_n = 0,1 \cdot d_n^3 = 0,1 \cdot 0,5^3 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{м}^3.$$

Напруга вигину в цьому перетині:

$$\sigma = \frac{M_\epsilon}{W_n} = \frac{2,42 \cdot 10^4}{1,25 \cdot 10^{-3}} = 19,3 \text{МПа}$$

При виконанні напрямних зі сталі 45 границя витривалості при вигині можна приймати $\sigma_{-1} = 0,4 \cdot \sigma_y = 0,4 \cdot 600 = 240 \text{ Мпа}$, де межа міцності $\sigma_y = 600 \text{ Мпа}$. Запас міцності по границі витривалості

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot K_d \cdot K_v}{\sigma} = \frac{240 \cdot 0,88 \cdot 1,1}{19,3} = 12,03,$$

де K_d – коефіцієнт впливу абсолютних розмірів поперечного переріза, $K_d = 0,88$, $K_v = 1,1$.

Робочий хід печі під дією гідроупорів l_x приймаємо рівним $0,07 \text{ м}$, час переміщення корпусу печі нагору $t_p \leq 1 \text{ ч}$, кількість *гідроциліндрів*

$z_1 = 6$, робочий тиск у гідроциліндрі $P_{жс} = 10 \text{ Мпа}$. Будемо вважати, що і один гідроупор здатн переміща пек нагору, тоді $z_2 = 2$.

Необхідна площа кожного поршня:

$$F_{ц} = \frac{P_{сд}}{z \cdot P_{жс}} = \frac{0,67 \cdot 10^6}{2 \cdot 10} = 3,35 \cdot 10^4 \text{ мм},$$

а необхідний діаметр

$$D_n = \sqrt{4 \cdot \frac{F_{ц}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,35 \cdot 10^4}{3,14}} = 206 \text{ мм}.$$

Приймаємо $D_{n.\phi} = 250 \text{ мм}$, тоді необхідна продуктивність мастилостанції

$$Q = Z_1 \cdot F_{n.\phi} \cdot v = \frac{\pi \cdot D_{n.\phi} \cdot Z_1 \cdot l_x}{4 \cdot t_p} = \frac{3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 6 \cdot 0,07}{4 \cdot 60} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{мин}$$

$$= 0,34 \text{ л} / \text{мин}$$

5.4 Розрахунок корпусу обертової печі 6.5x90м за допомогою системи “Весна”

З точки зору будівельної механіки в розрахунковому відношенні корпус обертової печі є тонкостінною циліндричною оболонкою, яка встановлена на декількох опорах. Опірними елементами є бандажі встановлені на підбандажні обичайки. Останнім часом все частіше використовують бандажі що вварюються в корпус.

Корпус печі має змінний поперечний переріз, що визначається різною товщиною самого корпусу та футерівки. Крім того в зоні спікання на футеровку

печі налипає частина оброблюваного матеріалу. Цей шар називається «обмазкою», який з однієї сторони є неминучим наслідком властивостей оброблюваного матеріалу, з іншої, служить запобіжним шаром, що захищає футерівку від зайвого температурного впливу. Біля однієї з опор печі на корпус прикріплене ведуче зубчасте колесо привода, що передає на корпус обертовий момент, та має відповідну вагу яка враховується в розрахунках[17].

Основними навантаженнями являються власна вага корпусу печі, футерівки, бандажів та ведучого зубчастого колеса. Значно меншу частку складає вага оброблюваного матеріалу. Тому в розрахунках він звичайно не враховується. При визначенні зусиль, що діють на піч, вплив її подовжнього ухилу на величину зусиль звичайно не враховується так як він незначний і складає 3-4%.

Також при розрахунках потрібно враховувати, що піч є не тільки несущою конструкцією, але і тепловим агрегатом, на міцність якого великий вплив роблять сили що виникають під дією нерівномірних температурних полів в робочих зонах теплового агрегату і викликають відповідні термосилові навантаження.

Конструкція, що розглядається, є симетричною, тому для зведення до мінімуму машинного часу та розміру матриці жорсткості, необхідно розглядати тільки половину виробу, отриману шляхом його розділу вертикальною площиною симетрії. При цьому в скінчених елементах, що знаходяться в площині симетрії встановлюють зв'язки перпендикулярні цьому напрямку.

Враховуючи, що конструкція корпусу обертової печі складається із циліндричної оболонки, бандажу та вінцевої шестерні, моделюємо її кількома фрагментами, котрі спряжені між собою і займають увесь об'єм досліджуваної конструкції.

Фрагменти наносяться по подовжньому розрізі виробу. На рис. 5.7 приведено загальний вигляд цього розрізу й розташування глобальної та локальної систем координат (через симетрію досліджуваного об'єкта моделюється тільки половина виробу).

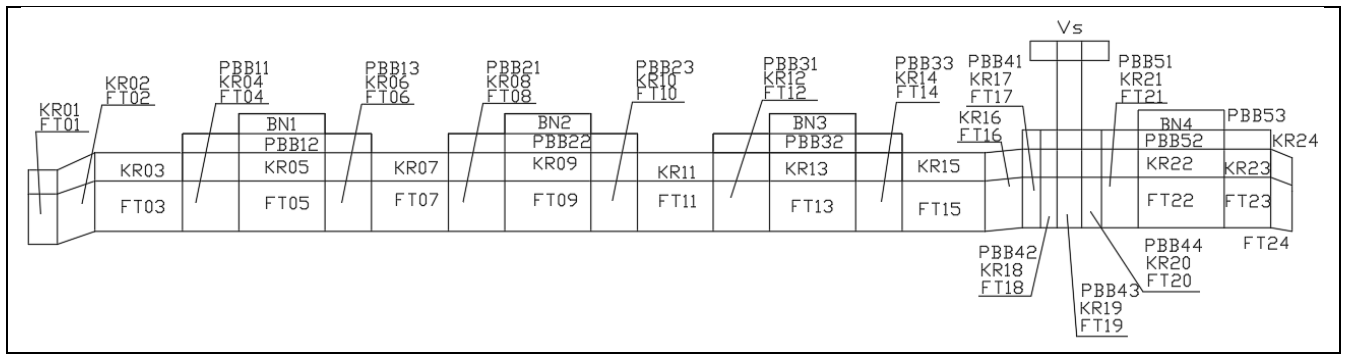


Рис.5.7 Загальний вигляд розрізу печі

Розрахунок теплової задачі.

При розрахунку теплової задачі коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище від корпусу та бандажів визначається по емпіричній формулі $\alpha_{o.c.} = 3.5 + 0.062t_K$.

Результати розрахунку в вигляді температурних полів зовні корпусу та всередині печі приведені на рис.5.8.

На рис.5.9 температура на зовнішній поверхні корпусу представлена в вигляді графіка.

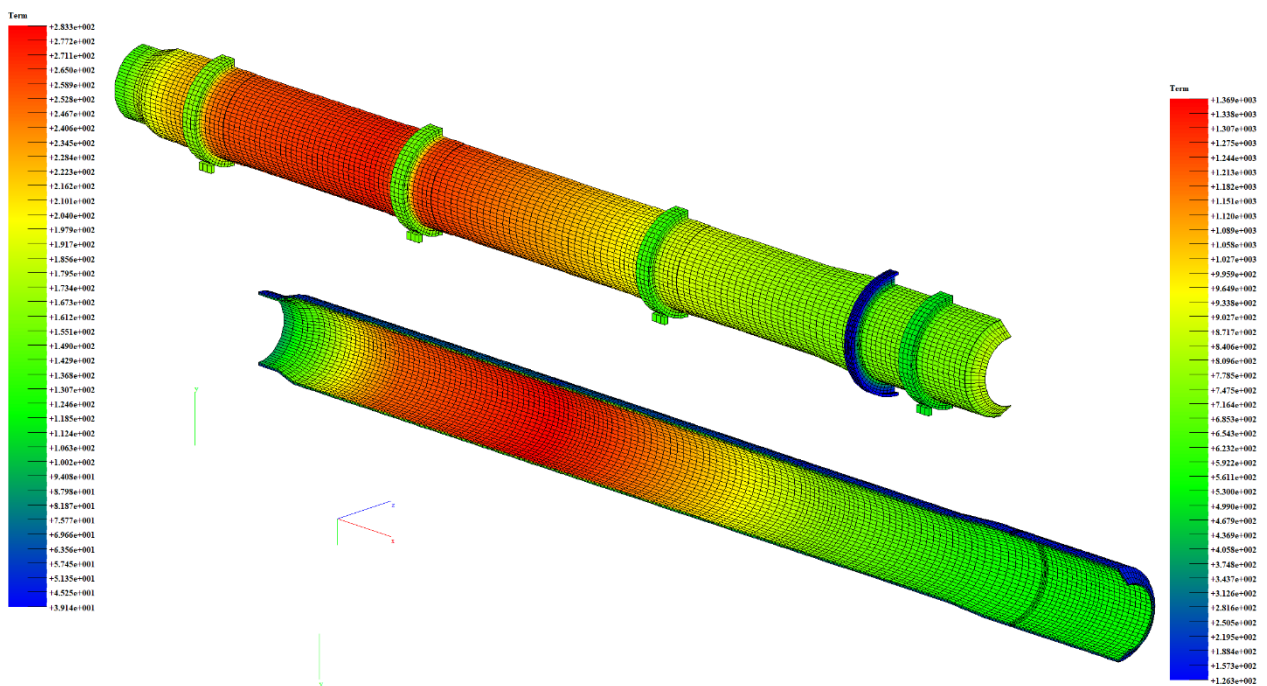


Рис.5.8. Температурні поля всередині печі та на корпусі

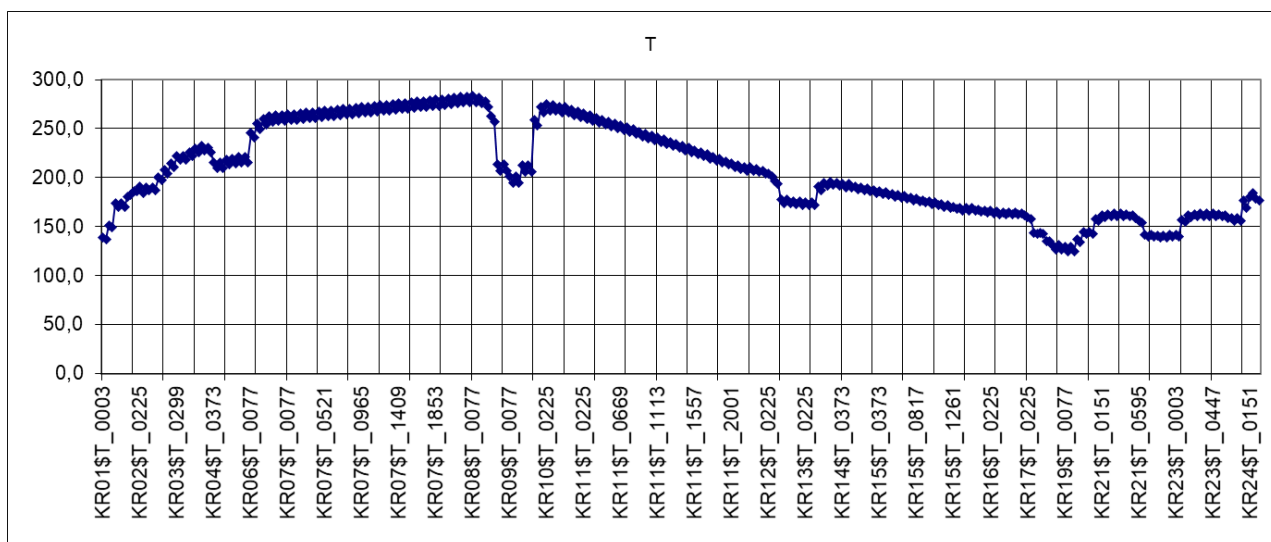
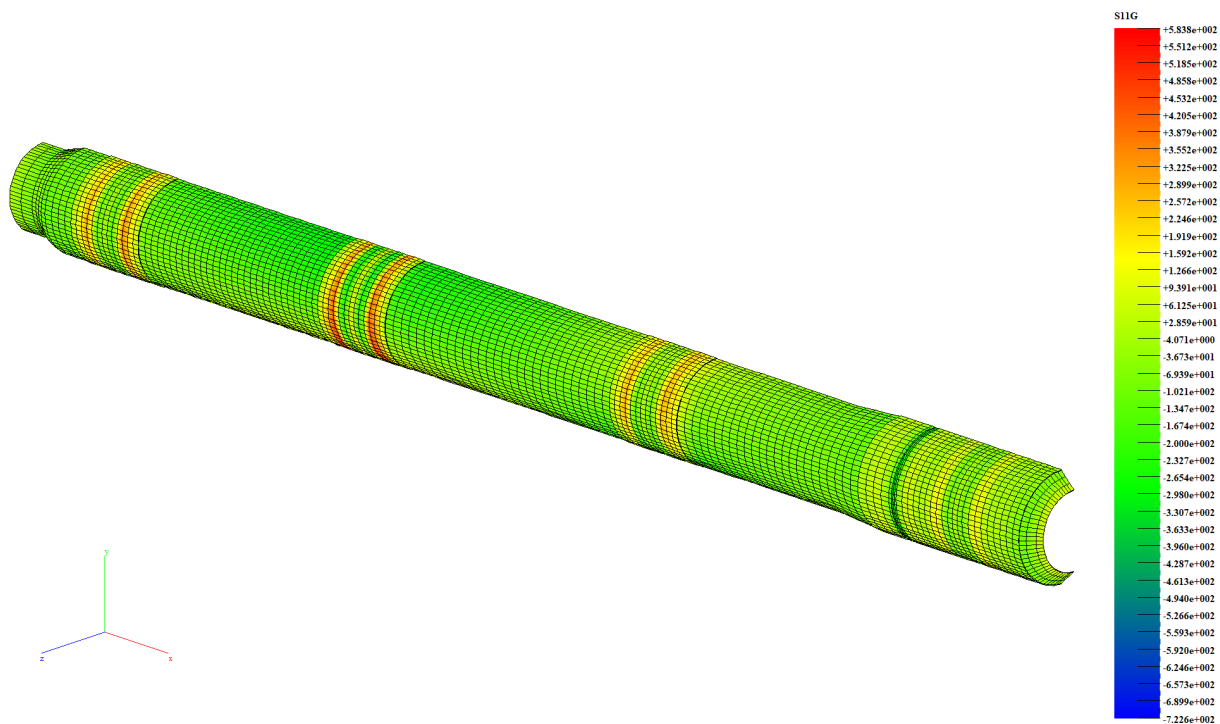


Рис.5.9. Графік температури корпусу печі

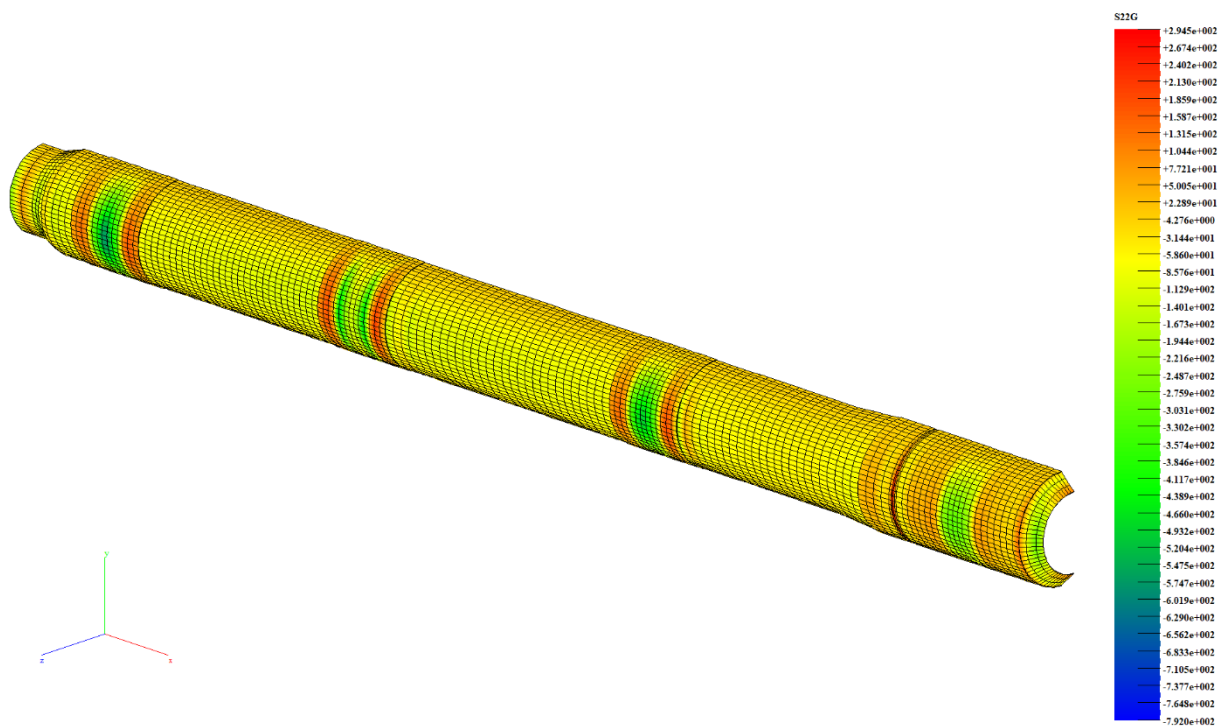
З графіка, рис.5.9 видно, що температура корпусу печі змінюється від 2500С в зонах охолодження та екзотермічних реакцій до 3850С в зоні спікання. Деяке зниження температури спостерігається в зоні бандажів та вінцевої шестерні за рахунок більш інтенсивного охолодження. Незначне підвищення температури спостерігається на ділянці де відсутня обмазка, але температура всередині печі досить велика.

Розрахунок задачі на міцність.

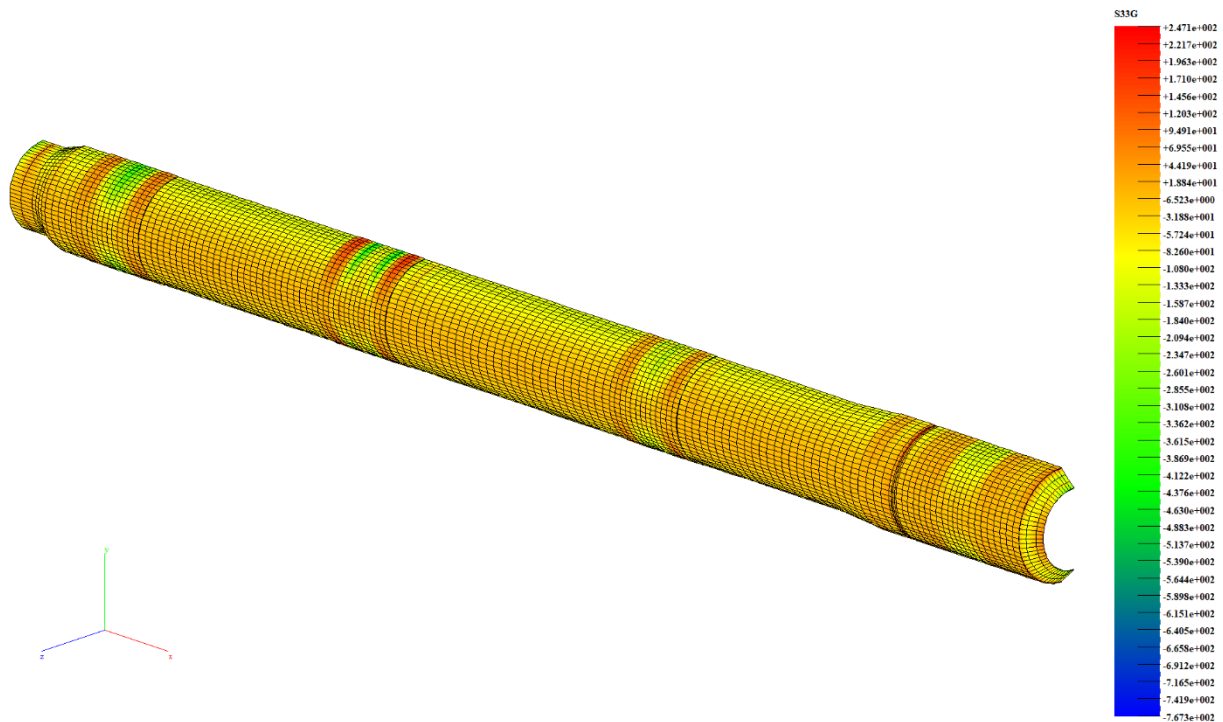
Отримавши розподіл температур виконується розрахунок на міцність з врахуванням термосилових навантажень від градієнту температур та дії масових сил. Дані розрахунку головних та приведених напружень, для корпусу печі, представлені на Рис.5.10, Рис.5.11.



S11G-Головні напруження по першому напрямку



S22G- Головні напруження по другому напрямку



S33G- Головні напруження по третьому напрямку

Рис.5.10. Головні напруження в корпусі печі

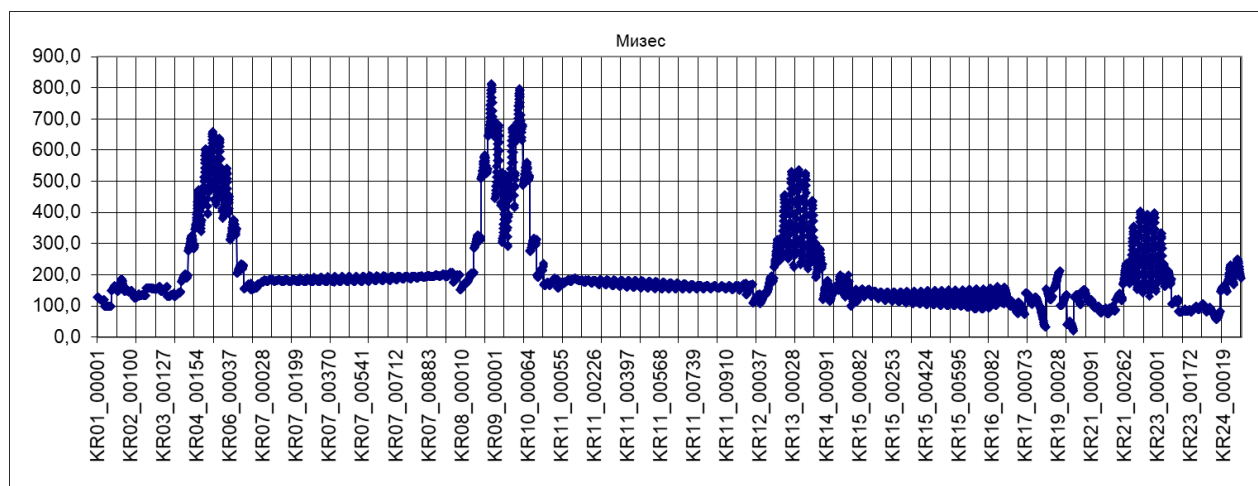


Рис.5.11. Приведені напруження в корпусі печі

Для визначення приведених напружень в корпусі печі для скінчених елементів (СЕ) використовувалась енергетична теорія міцності.

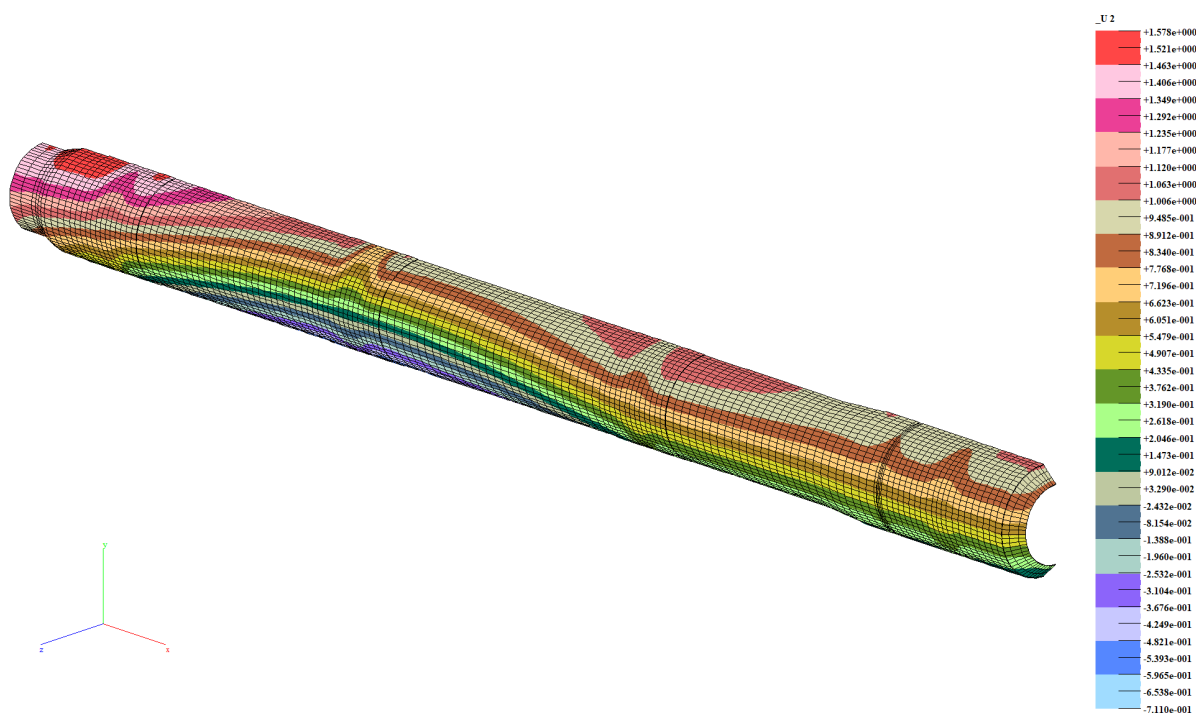
Розподіл приведених навантажень по корпусу печі відносно СЕ приведений на рис.5.11.

На рисунку приведені навантаження від дії масових сил, значення яких максимальне від сумарної дії масових та термосилових навантажень, максимальне

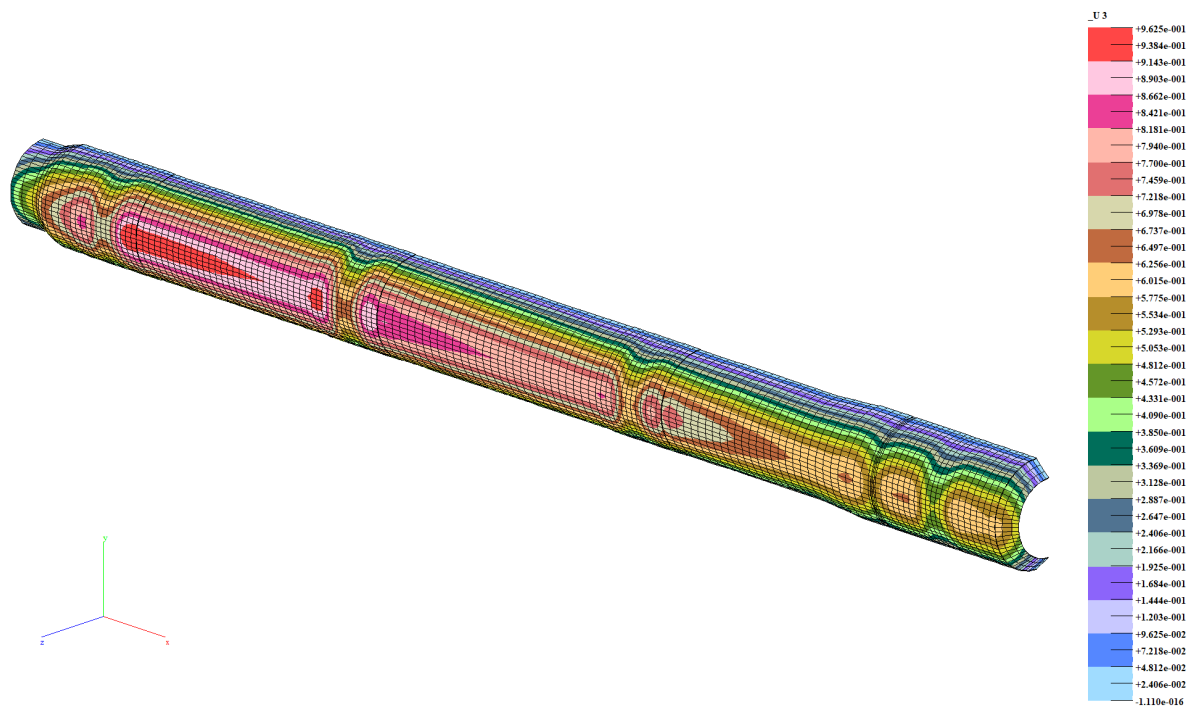
значення яких становить 83 МПа і знаходиться в зоні спікання. В корпусі обертової печі виникають напруження різної інтенсивності. Характер розподілу напружень свідчить про те, що температурні навантаження значно більші ніж навантаження від масових сил. Видно перепади в місцях встановлення бандажів та вінцевої шестерні, що викликано локальним охолодженням корпусу в цих місцях [18].



U1-деформація по першому напрямку



U2-деформація по другому напрямку



U3-деформація по третьому напрямку

Рис.5.12 Деформації корпусу печі

На рис.5.11 приведені головні напруження для корпусу печі. Важливим фактором є аналіз цих навантажень оскільки однією з основних умов її безпечної роботи є достатня твердість і мінімальні деформації корпусу.

Відомо, що футерівка погано витримує скільки-небудь значні деформації як від прогинів в осьовій площині, так і від радіальних деформацій у площині поперечного переріза, тим більше, що всі вони є знакозмінними. Це пов'язано з тим, що піч працює безупинно, з річним коефіцієнтом використання 0,94—0,96 [19]. Тому протягом одного року корпус печі випробує близько 500 тис. таких знакозмінних циклів деформацій (і напружень) [20].

Значні температурні напруження в бандажі викликані великим градієнтом температур, що виникають за рахунок його інтенсивного охолодження навколишнім середовищем. Тому в бандажі, і відповідно корпусі печі, виникають значні температурні градієнти, які викликають стискуючі термічні напруження, що негативно діють на бандаж, корпус та футерівку печі і призводять до їх передчасного руйнування та ненадійності в роботі [21]. На **Ошибка! Источник**

ссылки не найден. приведена візуалізація нерівномірного теплового потоку в тілі бандажа.

Результати розрахунку переміщення, з коефіцієнтом деформації $K=20$, приведені на Рис 5.13

На Рис 5.14 показані результати розрахунку задачі при механічному та тепловому навантаженні. Епюри та графіки навантажень демонструють нерівномірність концентрації напружень в зоні встановлення бандажів, що свідчить про нерівномірність розподілу теплових та механічних навантажень по ширині та довжині поверхні бандажа.

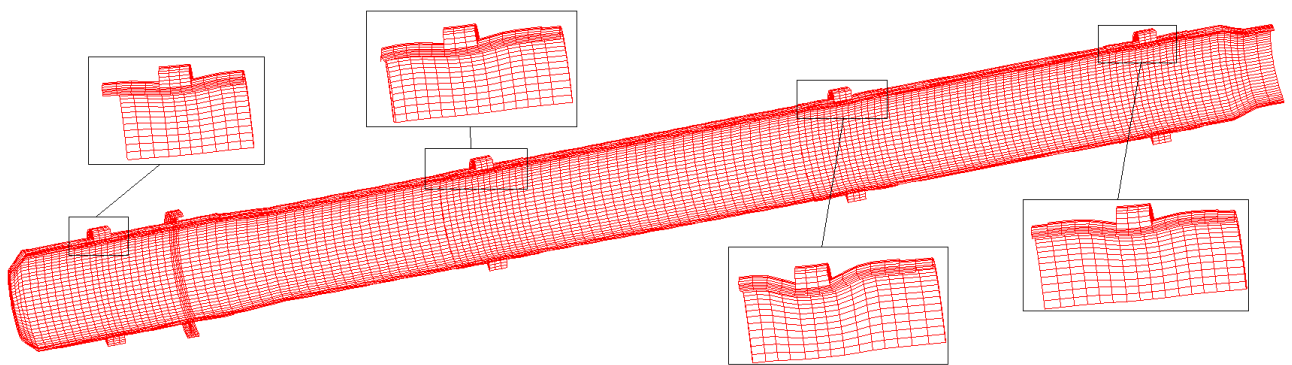
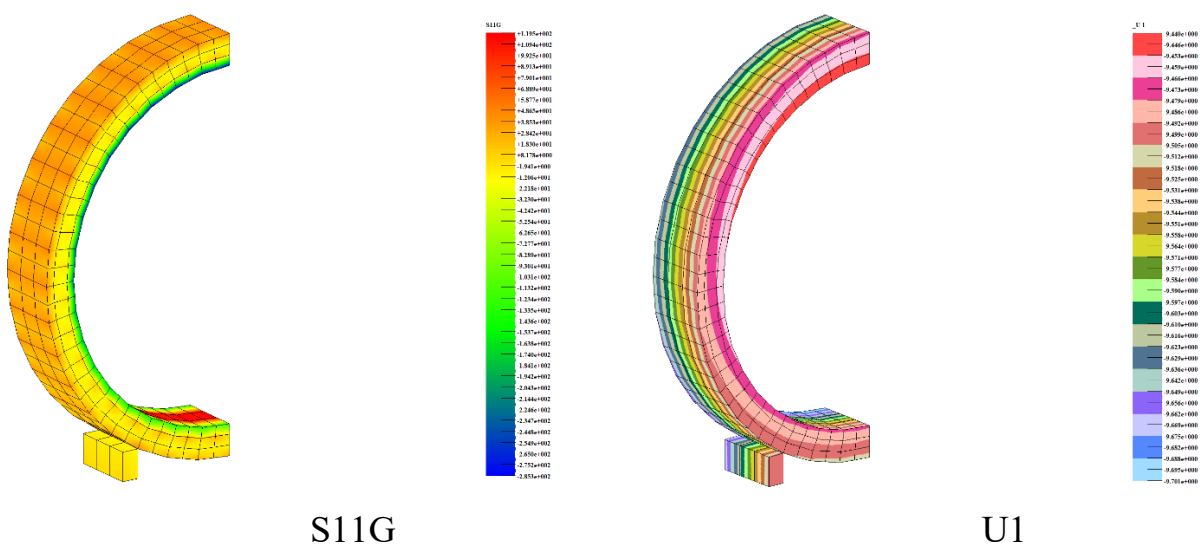


Рис 5.13. Переміщення ($K=20$); деформація представлена в збільшених масштабах



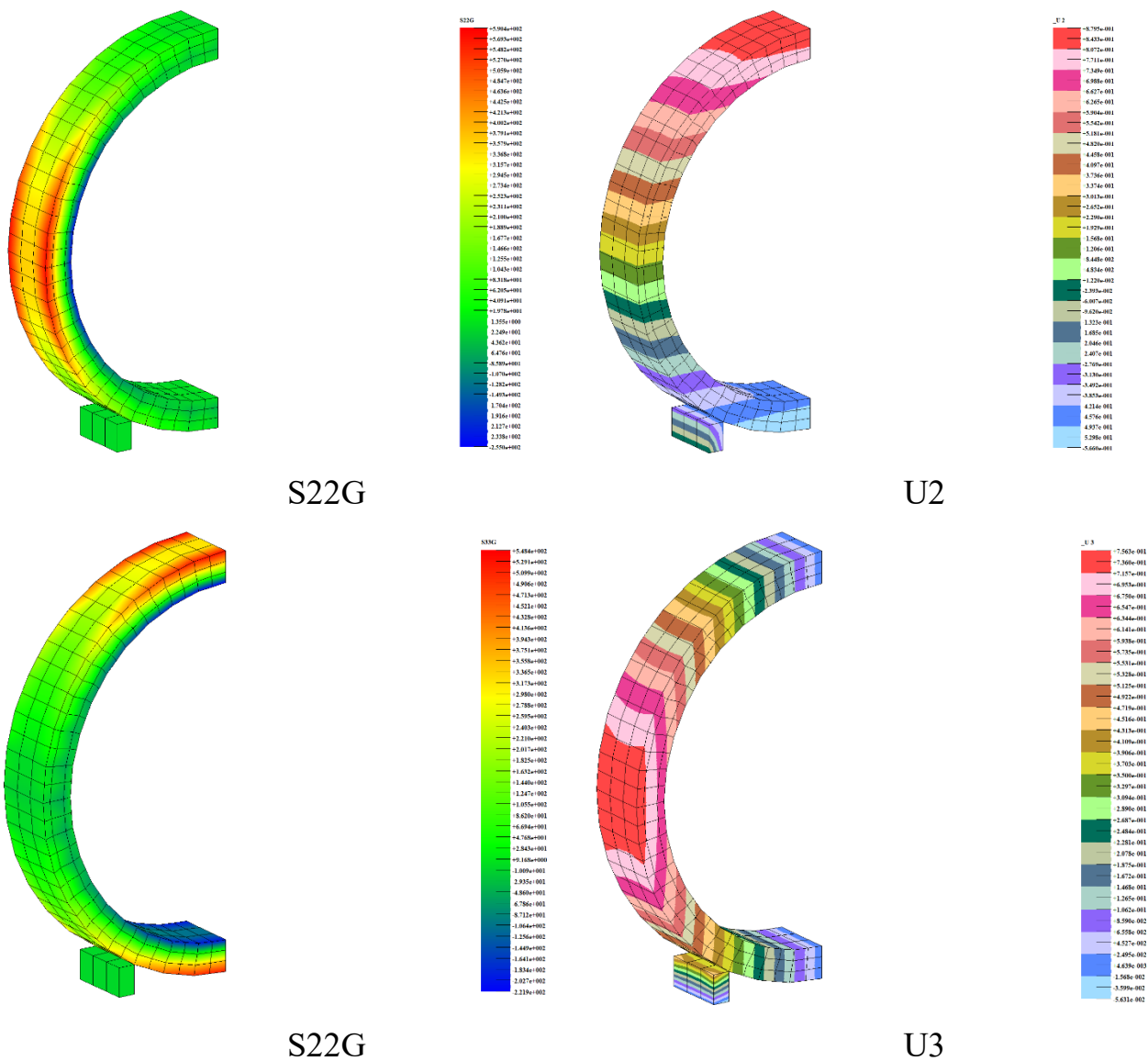


Рис 5.14. Епюри головних напружень-G та переміщень-U в бандажі при механічному та тепловому навантаженні

Визначання СЕ з максимальними навантаженнями.

Для визначення приведених навантажень в СЕ використовується енергетична теорія міцності.

$$\sigma_{np} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + 6(\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2 + \tau_{23}^2)}$$

При цьому оброблюються всі скінчені елементи конструкції.

Визначення допустимих напружень.

Приведене напруження визначається по енергетичній теорії міцності:

Максимальне напруження в 153-му СЕ фрагменту KR08: 813МПа.

Ск.елемент	G11	G22	G33	G priv
153	1,84E+02	-8,62E+00	-7,09E+00	8,14E+02

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2}$$

$$= 1.42 \sqrt{(184 - (-8,62))^2 + (-8,62 - (-7,09))^2 + (184 - (-7,09))^2} = 8.14 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

$$= 81.4 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження отримують з вираження:

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_{-1}}{n} = \frac{0.435 \cdot \sigma_{\text{вр}}}{n}$$

де n – запас міцності обертового апарату, враховуючий специфіку його експлуатації, наявність зварних швів, температуру і т.д., звичайно він приймається рівним 2-2.5 [22].

Так як матеріалом корпусу апарату є сталь ВСТ-3 та М16С, з межею міцності для листа товщиною (33-60)мм, $G_{\text{вр}}=370-460 \text{ Мпа}$, то підставивши це значення у приведену формулу отримаємо:

$$[\sigma] = \frac{0.435 \cdot 400}{2.3} = 75.65 \text{ МПа}$$

Висновок по працездатності конструкції.

Отримані максимальні напруження ($\sigma_{\text{пр}}=81,4 \text{ МПа}$) перевищують допустимі напруження ($[\sigma]=75,65 \text{ МПа}$), це пояснюється тим, що при моделюванні конструкції обертової печі футерівка виконана суцільною. Тому під дією масових та температурних навантажень виникають додаткові напруження від футерівки в корпусі печі. Також при моделюванні напружено деформованого стану результати експерименту зазвичай перевищують реальні значення на 10%. Відповідно отримані результати можна вважати правильними, а конструкцію печі працездатною і рекомендувати до виготовлення для роботи в промислових умовах.

5.5 Автоматизована система проектування упорного ролика обертової печі

Обертові печі використовуються в галузі виробництва будівельних матеріалів. Під час роботи на піч діють такі фактори як високі температури та їх перепади, тиски та підвищена запиленість. Тому під час роботи та експлуатації печі потрібно приділити додаткову увагу її надійності та довговічності[23].

Для стабільної роботи печі особливу увагу необхідно приділити опірному пристрою, від роботи якого залежить надійність та довговічність всього пічного агрегата. Основними конструктивними елементами є опірні ролики, упірні ролики та бандажі обертового апарата. Так як ролики та бандажі під час роботи печі сприймають високі напруження від ваги печі та зношуються. Опірні та упірні ролики виконують з сталі меншої міцності ніж бандажі, тому що їх заміна простіша, швидша та має меншу вартість. Тому виникає необхідність в розробці автоматизованого програмного забезпечення, яке дозволяє швидко виконати креслення по заданим пераметрам.

Була поставлена мета розробити програмне забезпечення для автоматизованого проектування упорного ролика обертової печі на основі параметризованого креслення.

До основних етапів роботи автоматизованого програмного забезпечення для проектування упорних роликів обертової печі 6.5х90м відносяться:

- 1) інтерактивне введення вихідних даних (параметрів, інформації) засобами багаторівневого віконного меню;
- 2) автоматизоване виконання креслення деталі упорного ролика в AutoCAD;
- 3) побудову на основі введених даних твердотільної моделі деталі типу SOLID;
- 4) запис проміжних і отриманих результатів у відповідні файли з можливістю їх подальшого використання для оцінки правильності вибору конструкції і редагування розмірів.

Базовою програмою для розробки автоматизованого проектування була використана система AutoCAD. Перевага була надана програмі яка має найбільшу розповсюдженість в інженерних розробках. Тому відповідно використовувалась

мова яка вмонтована в програму AutoCAD, це функціональна мова AutoLISP та DCL. За допомогою неї можливе створення програми користувача, яка дозволить прискорити процес розробки документації за рахунок використання інтерактивного режиму введення даних. Також можливе застосування нових команд графічного редактора, здійснити доступ до графічної бази даних та створювати ефективні системи і підсистеми зв'язані з програмною обробкою текстової та числової інформації [24, 25].

Результатом є розроблена багаторівнева віконна структура, призначена для багаторазового використання з оперативним введенням та корегуванням параметрів, та можливістю миттєво отримати креслення деталі або її твердотільну модель.

Вигляд основного діалогового вікна для введення інформації, що з'являється на екрані після запуску з її стандартними параметрами, приведені на рис.5.15

Рис. 5.15 – Діалогове вікно введення інформації

Діалогове вікно складається з трьох основних блоків:

Ескіз деталі для полегшення вводу формальних параметрів.

Поля в якому задаються розміри. Для зручності керування розміри розділено по групам: «Діаметри», «Висота», «Додаткові розміри».

«Виконання» – містить клавіші виконання: «Перевірка», «2D Креслення», «3D SOLID», «Cancel» і поле в якому задається масштаб креслення.

Для зміни одного з конструктивних параметрів упорного ролика необхідно виконати вибір одного з дійсних значень та ввести необхідне значення в

відповідне діалогове вікно. Необхідні значення розмірів вносяться в ячейки відповідно до ескіза деталі на екрані.

Поле клавiш виконання складається з наступних клавiш:

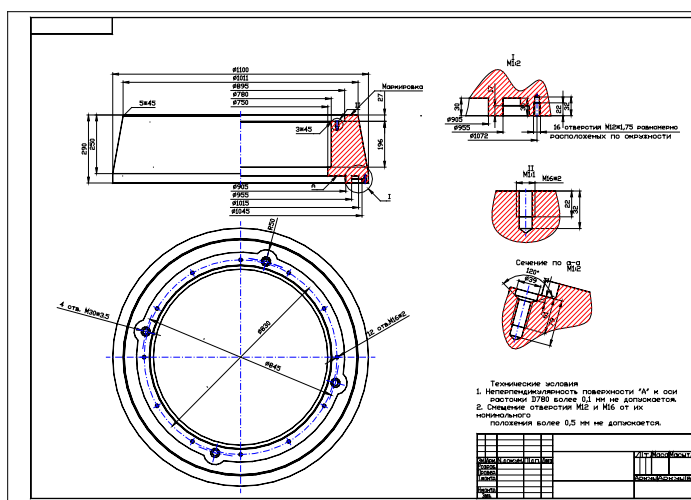
«Перевірка» виконується перевірка введених значень. Якщо системою помилок не виявлено з'являється відповідне повідомлення і кнопки «2D Креслення» і «3D SOLID» стають доступними для ініціалізації. При невірних значеннях виводиться повідомлення з зазначеною помилкою.

«2D Креслення» виконується побудова креслення упорного ролика по вказаним розмірам. «3D SOLID» виконується побудова тривимірної моделі типу SOLID.

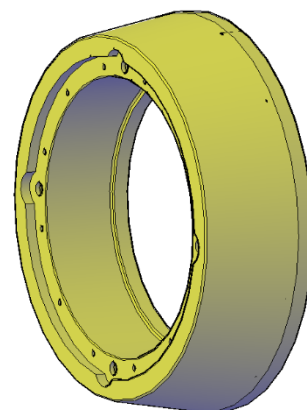
«Масштаб» включає в себе набір, що визначає масштаб креслення.

«Cancel» використовується для закриття діалогового вікна та виходу з програми.

Результати виконання програми, при базових значеннях розмірів деталі упорного ролика, для печі 6,5х90м, показані на рис. 5.15.



а)



б)

Рис. 5.15 – Результати виконання програми

а) – креслення деталі; б) – твердотільна модель

Висновок: Результатом є розроблена багаторівнева віконна структура, призначена для автоматизованого проектування упорного ролика обертової печі та багаторазового використання з оперативним введенням та корегуванням

параметрів, та можливістю миттєво отримати креслення деталі або її твердотільну модель.

6 МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ

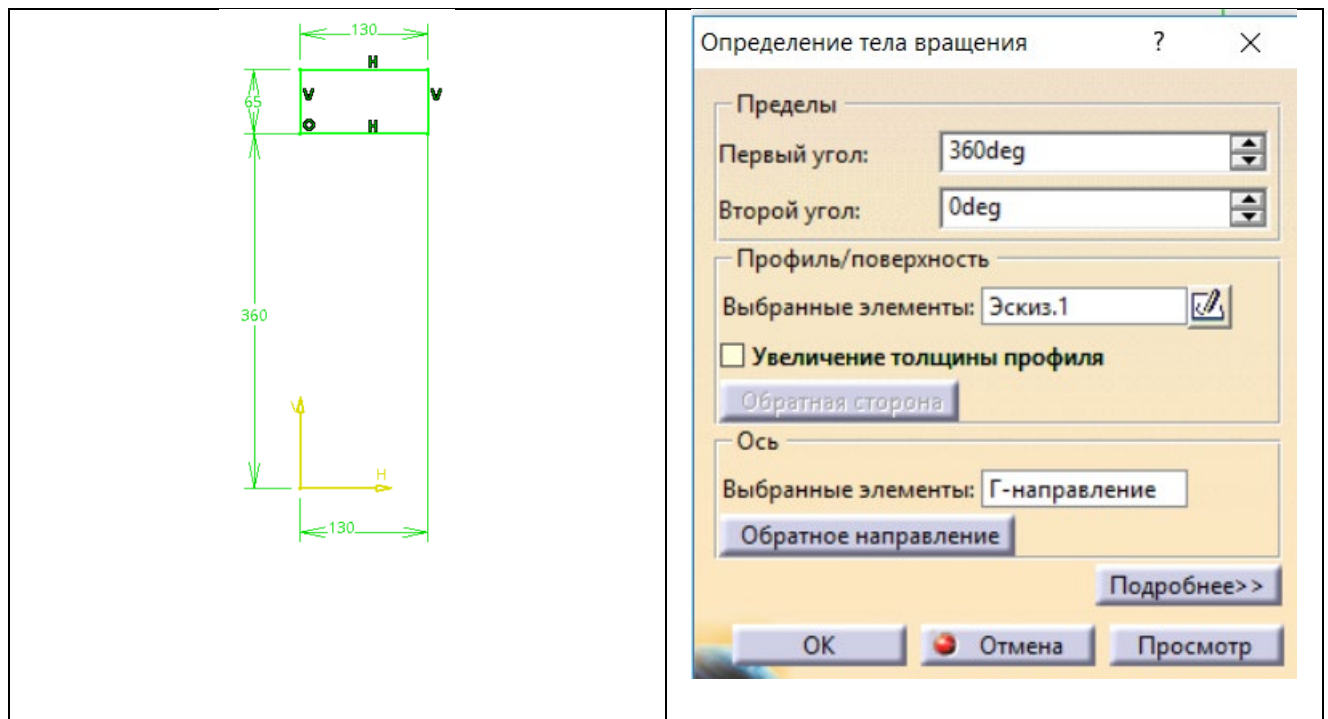
6.1 Побудова 3d моделі базової опірної станції

Для подальшого порівняння та підтвердження ефективності модернізованої конструкції опірної станції обертової печі виконуємо базову конструкцію опірної станції. Тому потрібно виконати побудову 3d моделі для подальшого розрахунку.

Побудову 3d моделі було виконано в програмному комплексі «САТІА». Кожний елемент 3d моделі опірного пристрою було виконано у вигляді 2d ескізу та за допомогою необхідних команд перетворено в 3d деталь.

Виконавши послідовну збірку необхідних 3d деталей ми отримали 3d модель опірної станції що продемонстровано на рисунках 6.1 – 6.3

Бандаж є частиною обертового барабана, та спирається на опірні ролики.



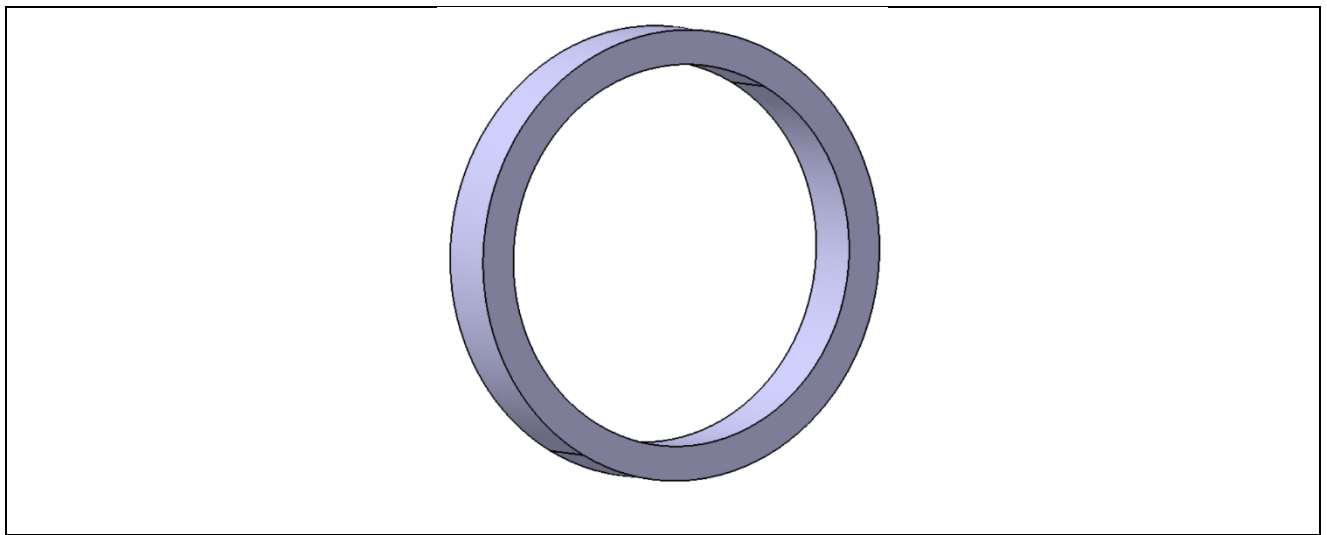


Рисунок 6.1 – Бандаж обертового барабана

На раму встановлюються опірні ролики(Рис 6.2).

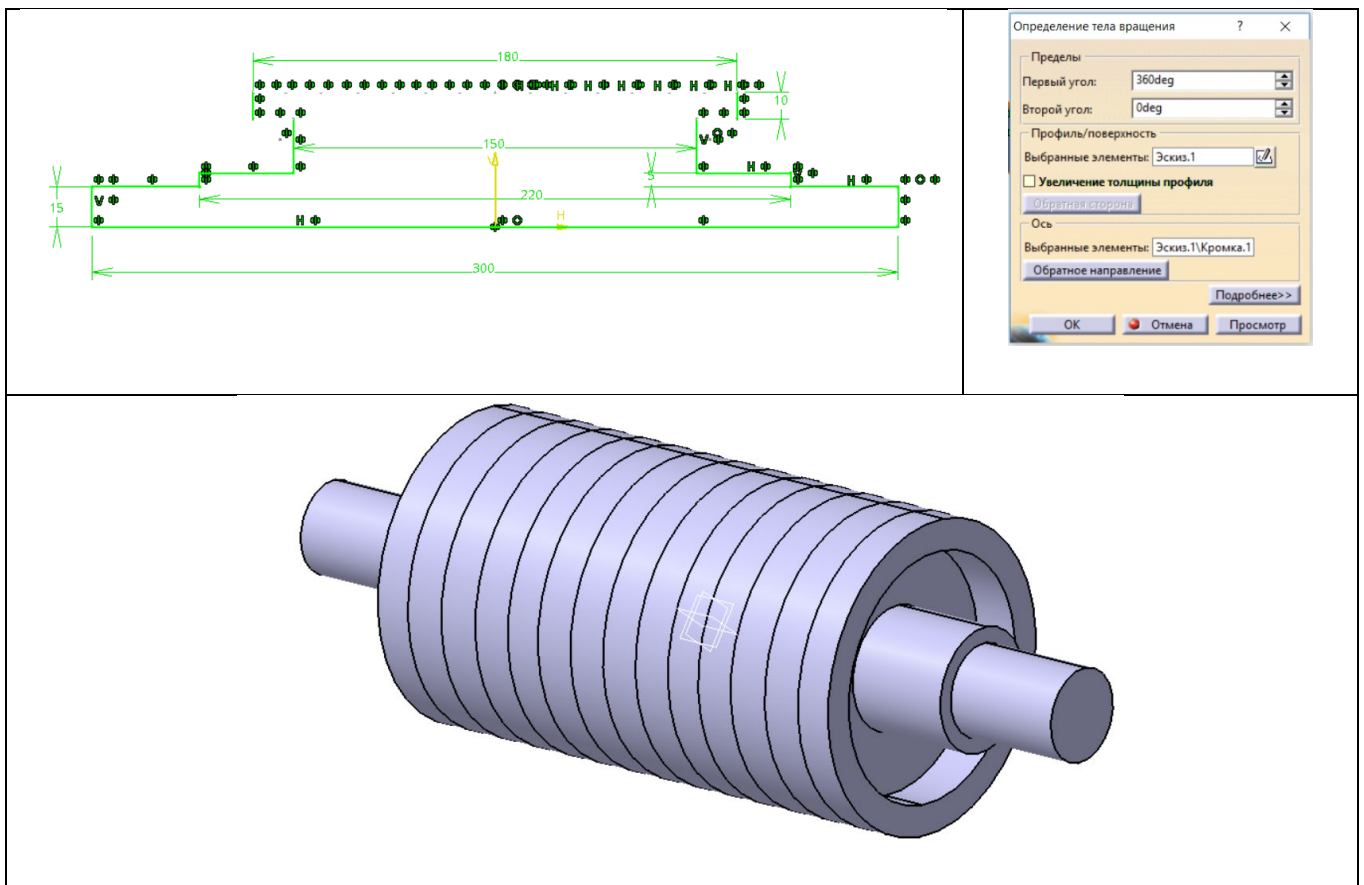


Рисунок 6.2 – Опірний ролик

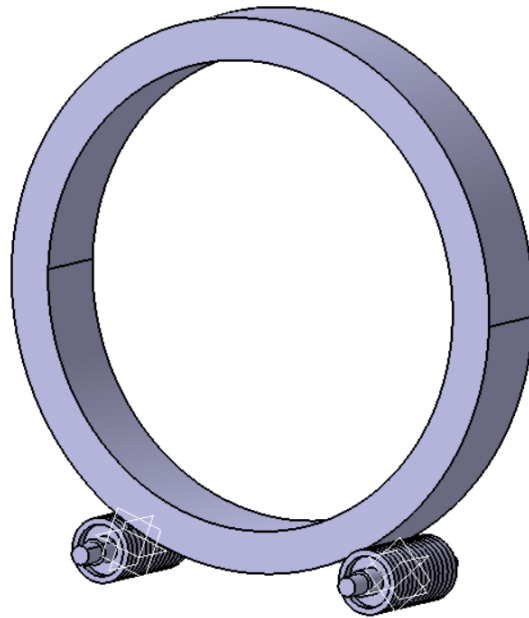


Рисунок 6.3 – Побудована 3d модель опірною пристрою

Виконану збірку опірною пристрою зберігаємо у файл с роширенням «.stp» для подальшого зручного зберігання та імпорту геометрії 3d моделі до інших програм.

6.2 Побудова 3d моделі модернізованої опірної станції

Для підтвердження працездатності обраної модернізації, опірної станції, потрібно виконати побудову 3d моделі для подальшого розрахунку.

Побудову 3d моделі було виконано в програмному комплексі «САТІА». Кожний елемент 3d моделі опірною пристрою було виконано у вигляді 2d ескізу та за допомогою необхідних команд перетворено в 3d деталь.

Виконавши послідовну збірку неоюхідних 3d деталей ми отримали 3d модель опірної станції що продемонстровано на рисунках 6.4 – 6.10

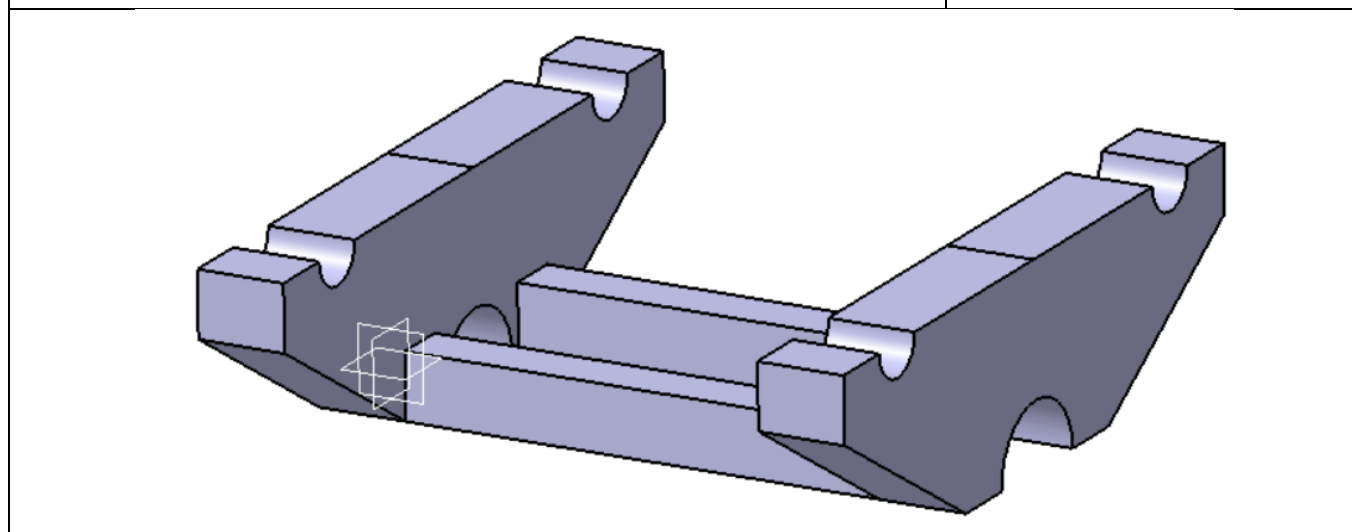
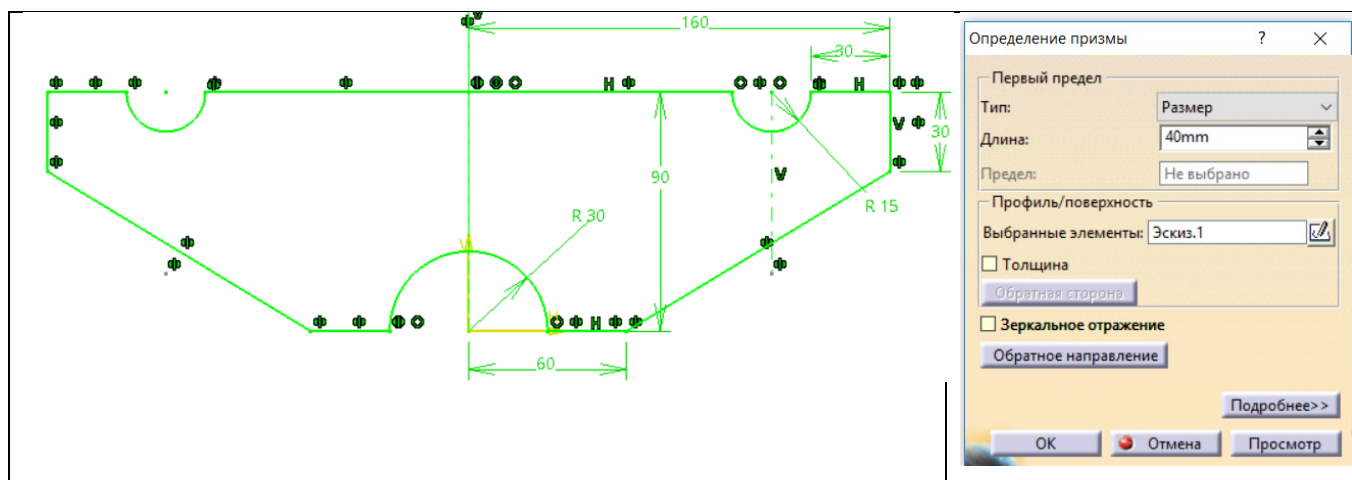
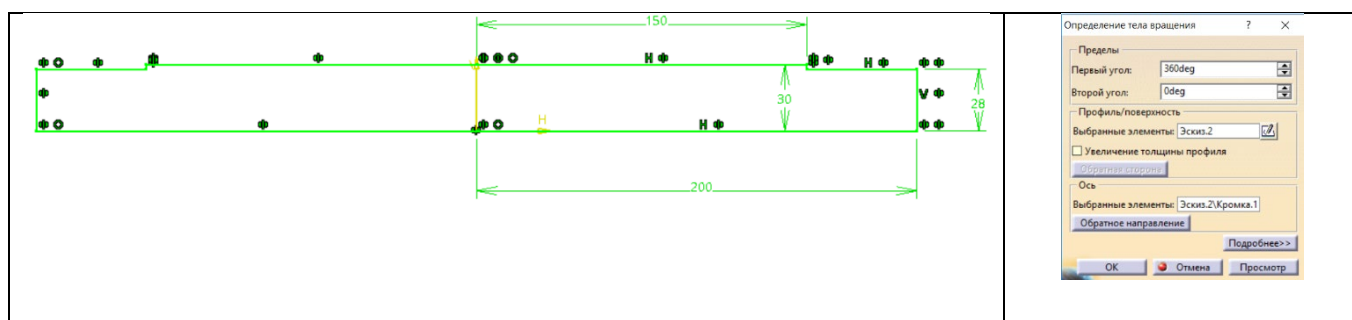


Рисунок 6.4 – Рама опорного прибора

Рама вставляется на ось (рис 6.5).



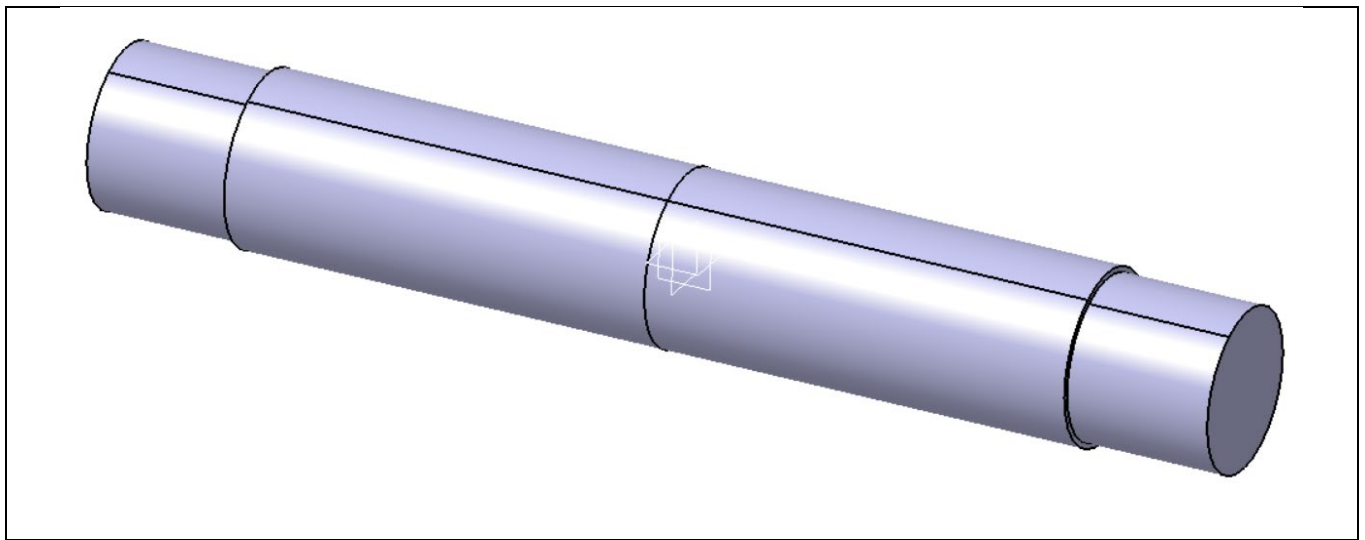


Рисунок 6.5 – Вісь

Вісь встановлюється на раму та фіксується підшипниковими кришками

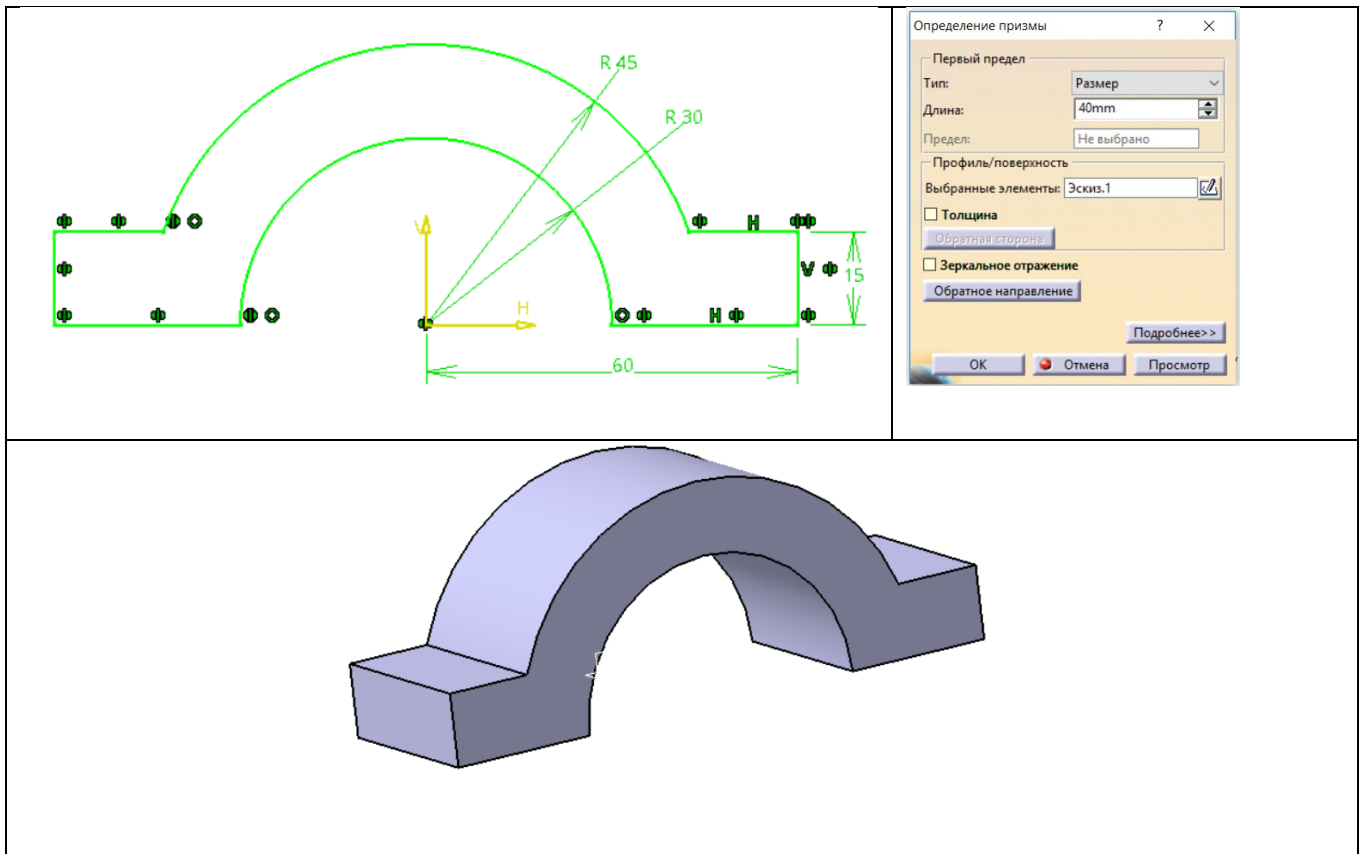


Рисунок 6.6 – Кришка підшипника вісі

На раму встановлюються опірні ролики(Рис 6.7).

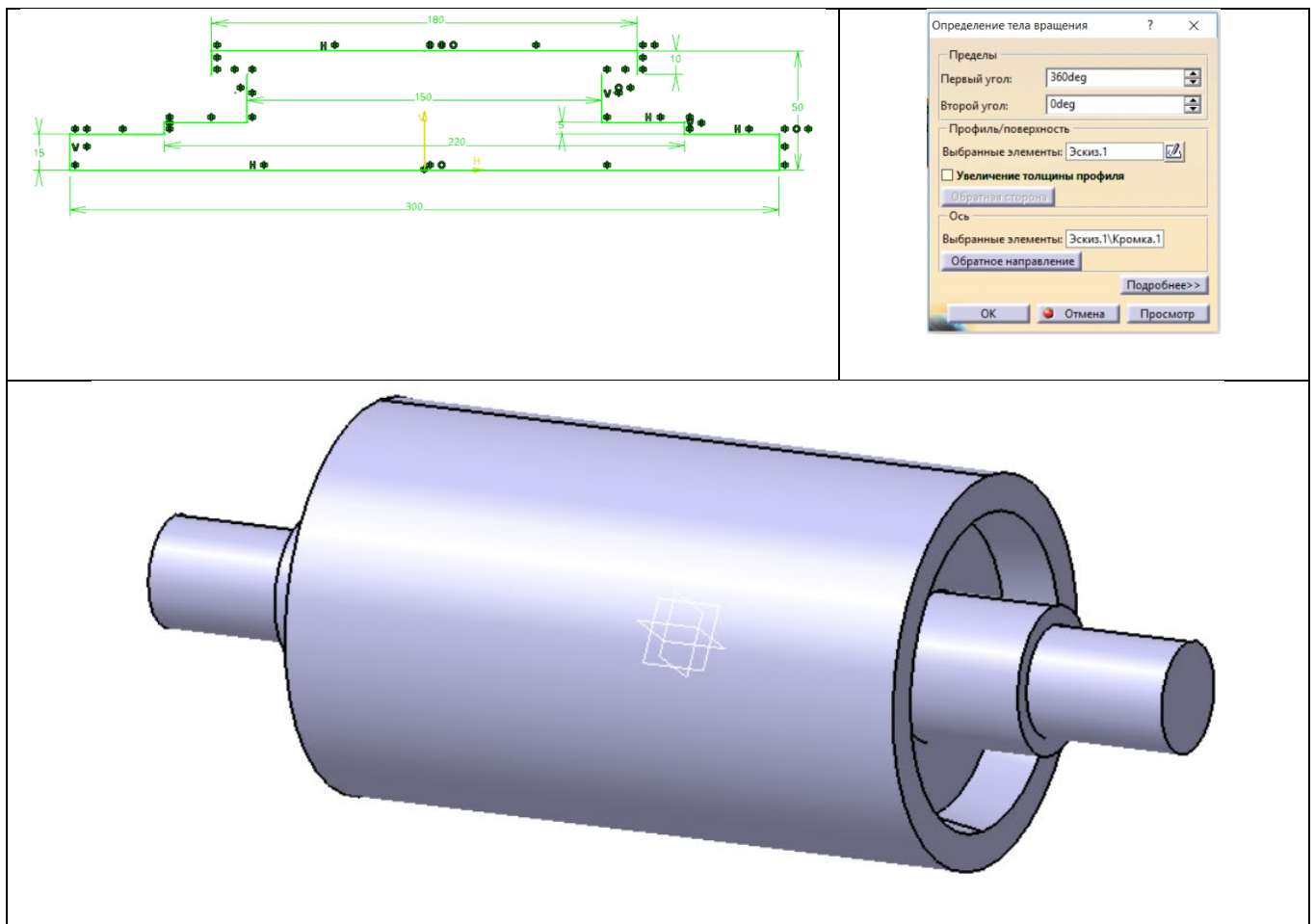
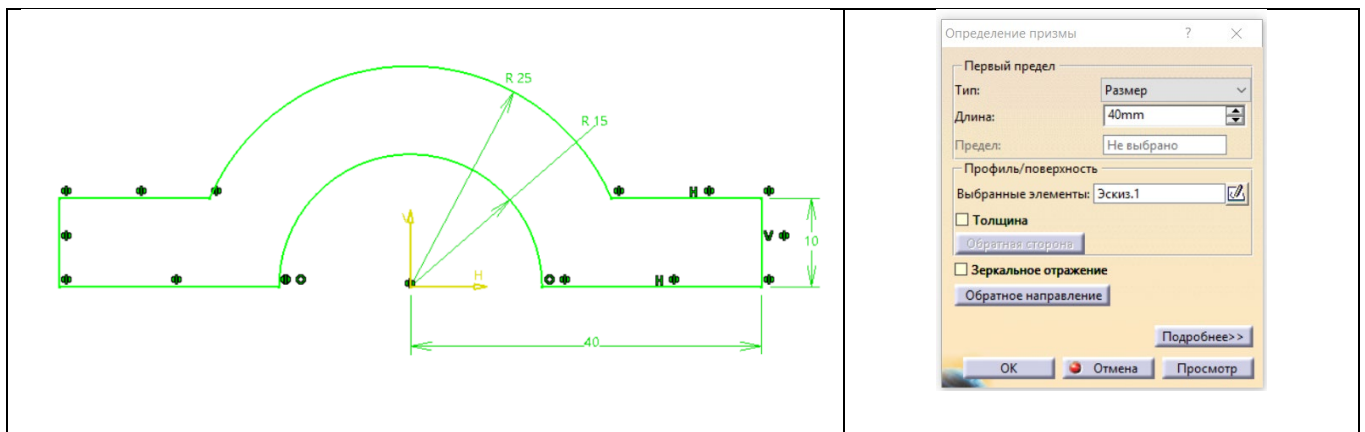


Рисунок 6.7 – Опірний ролик

Опірні ролики фіксуються кришками підшипників (Рис 6.8).



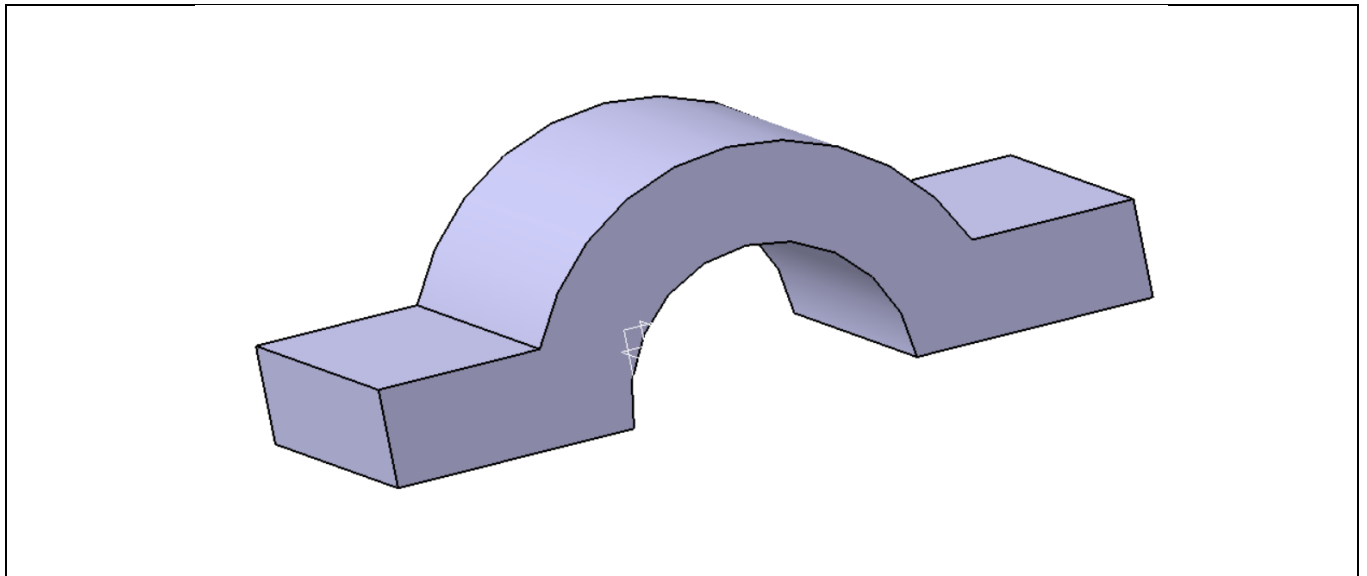
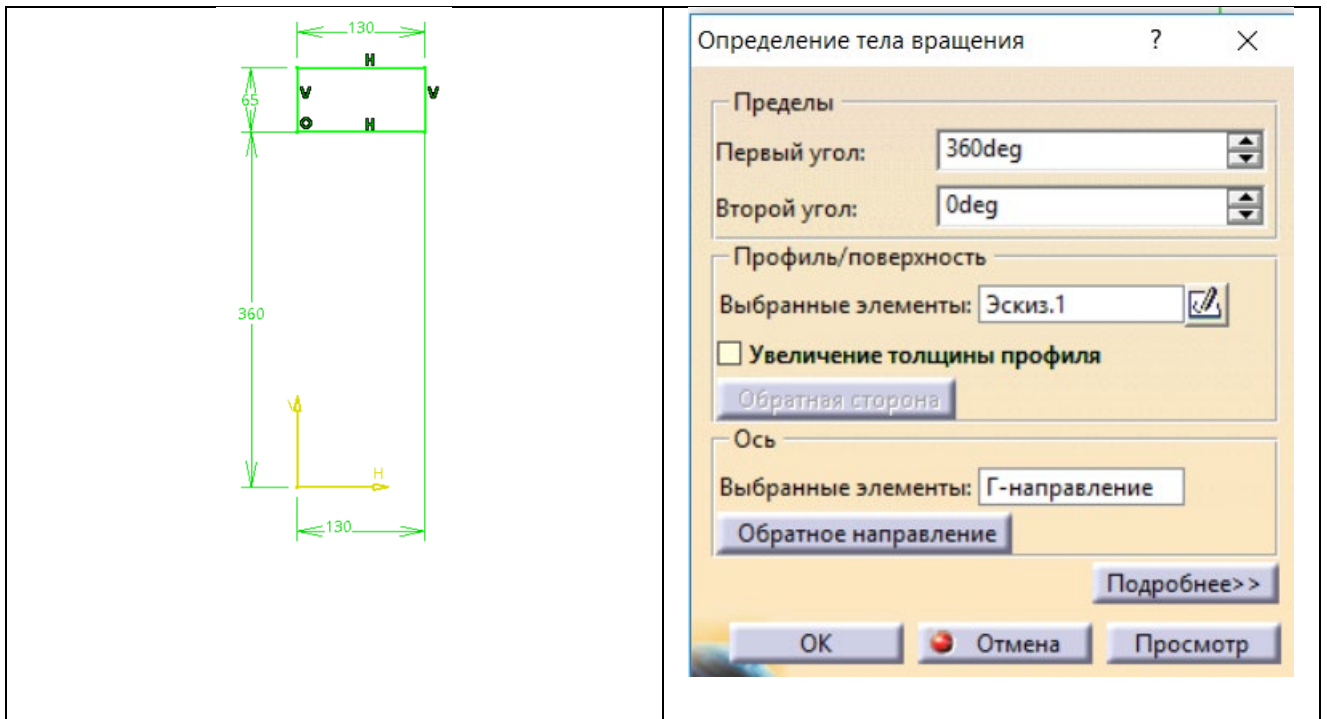


Рисунок 6.8 – Кришка підшипника опірної ролики

Бандаж є частиною обертового барабана, та спирається на опірні ролики.



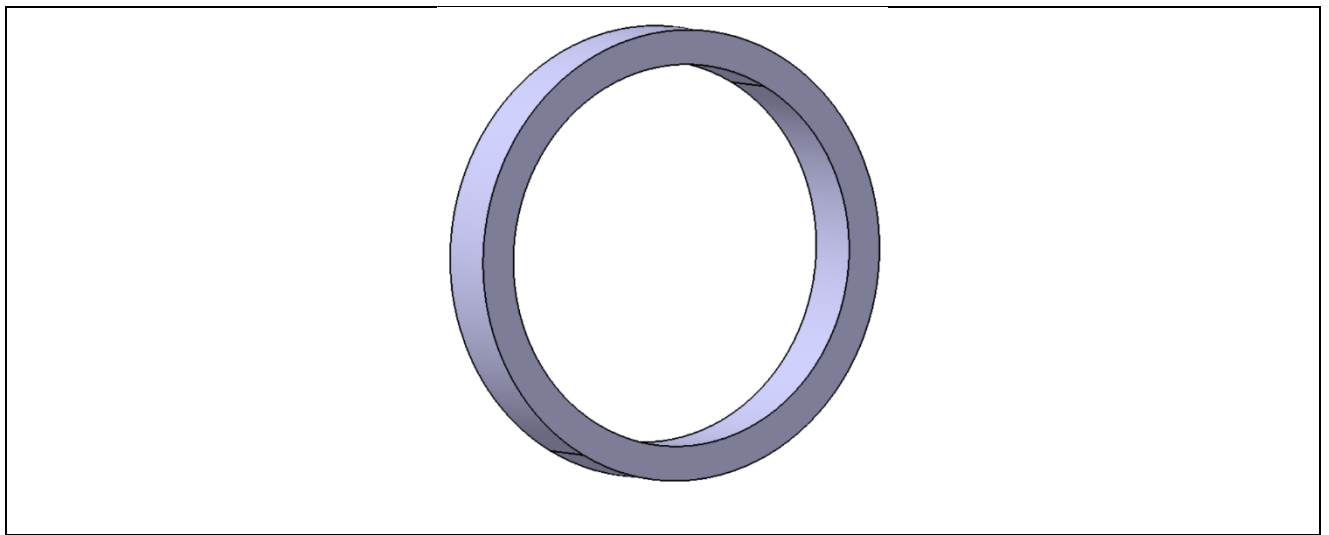


Рисунок 6.9 – Бандаж обертового барабана

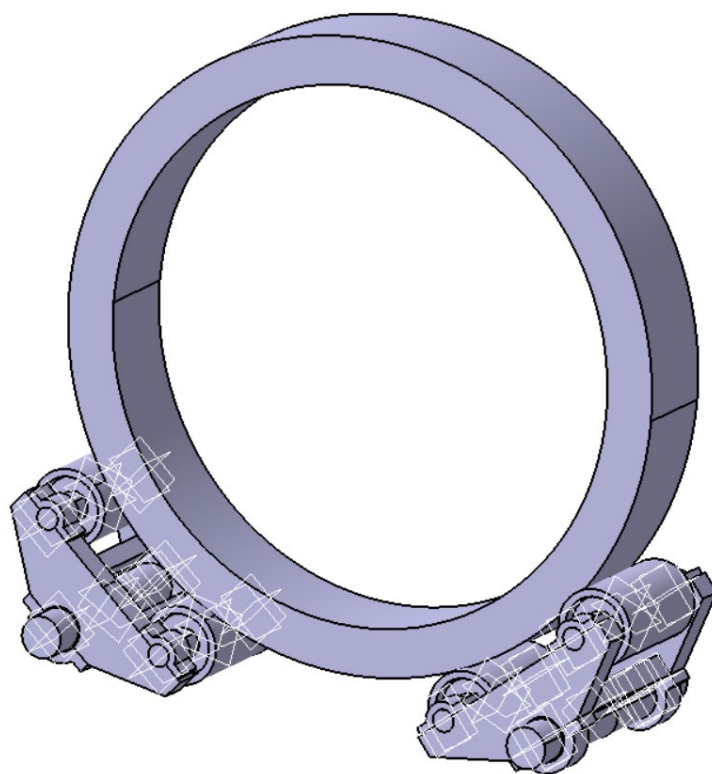


Рисунок 6.10 – Побудована 3d модель опірної пристрою

Виконану збірку опірної пристрою зберігаємо у файл с роширенням «.stp» для подальшого зручного зберігання та імпорту геометрії 3d моделі до інших програм.

6.3 Розрахунок 3d моделі базової опірної станції

Розрахунок базової опірної станції методом скінченних елементів. Розрахунок поставленої задачі методом скінченних елементів було виконано з використанням студентської версії програмного комплексу ABAQYS. Послідовність виконаних операції наведено на рисунках 6.11 – 6.18

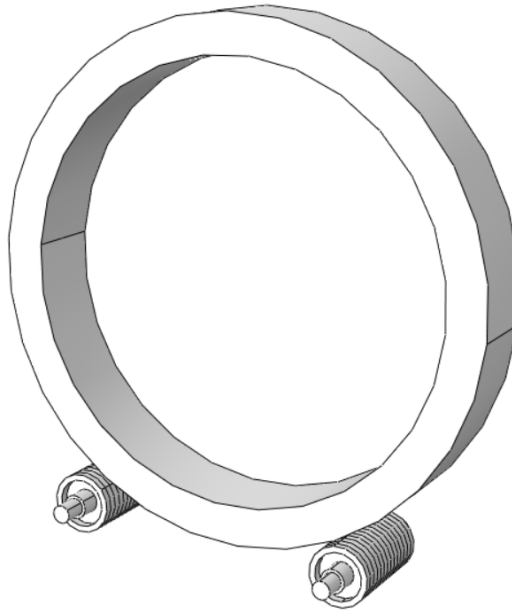


Рисунок 6.11 – Імпортована 3d геометрія перегородки з файлу «.stp»

З допомогою «auto mesh» було виконано розбивку 3d моделі на сітку кінцевих елементів (рис 6.12)

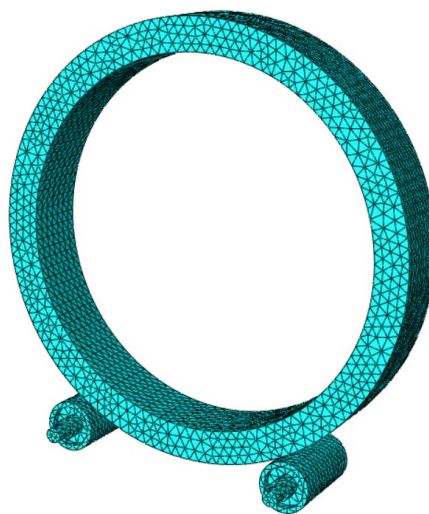


Рисунок 6.12 – Сітка кінцевих елементів опірної пристрою

Подальшим кроком ми задали властивості матеріалу та присвоїли їх об'єкту (рис 6.13)

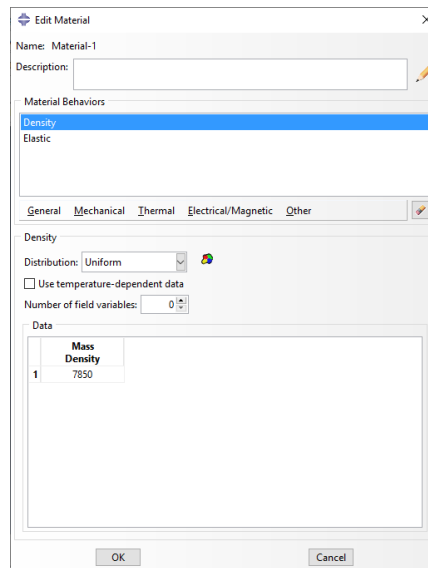


Рисунок 6.13 – Вікно програми для задання властивостей матеріалу

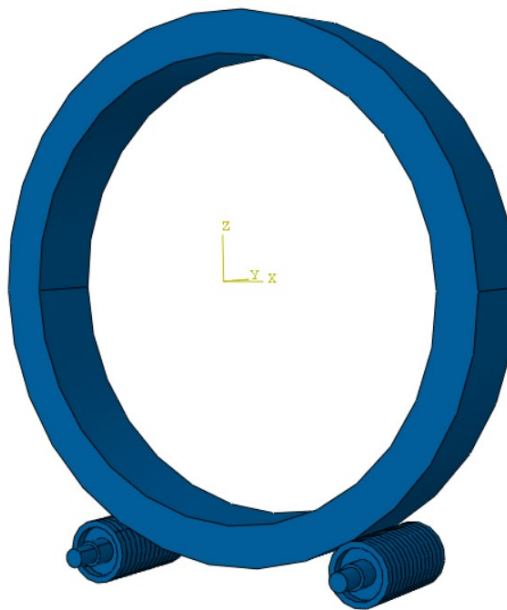


Рисунок 6.14 – створений блок ASSEMBLY

Шарнірно закріплюються опори обертового барабана, та симетрично закріплюється бандаж для імітації корпусу обертового барабана.

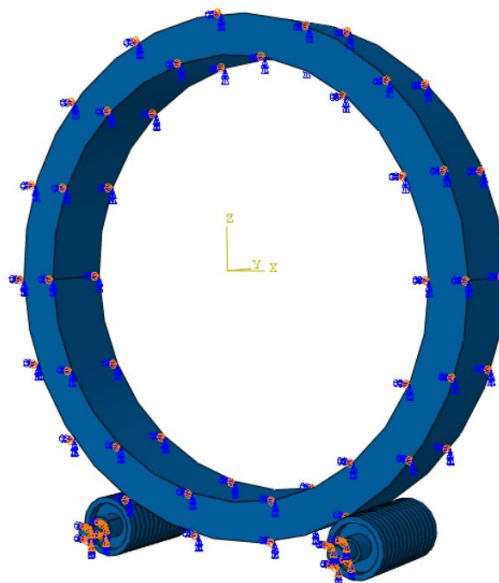


Рисунок 6.15 – Закріплення опірною пристрою

Навантаження опірною пристрою від дії масових сил корпусу печі та матеріалу який в ній знаходиться наведено на рис 6.6

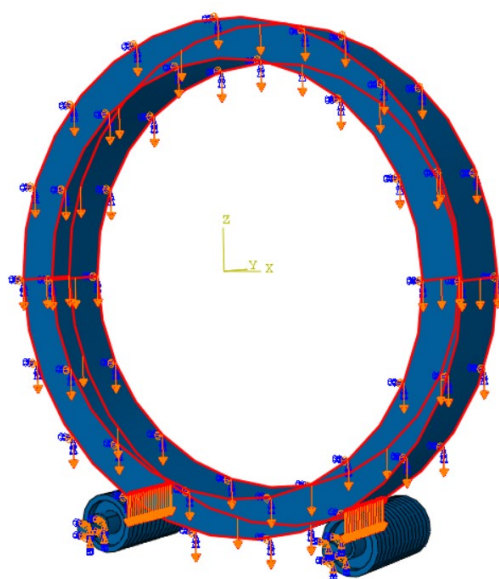


Рисунок 6.16 – Прикладене навантаження на опірний пристрій

Результати розрахунку опірною пристрою від дії масових сил корпусу печі та матеріалу який в ній знаходиться наведено на рисунках 6.17 - 6.18.

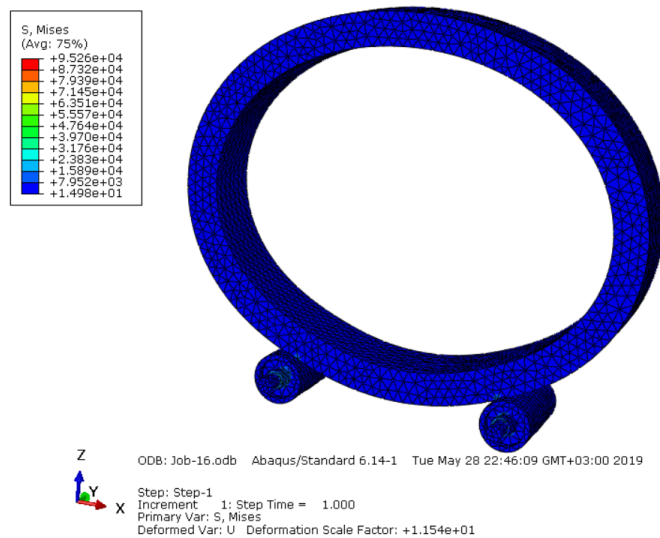


Рисунок 6.17 – Розподіл приведених за Мізесом напружень від дії масових сил

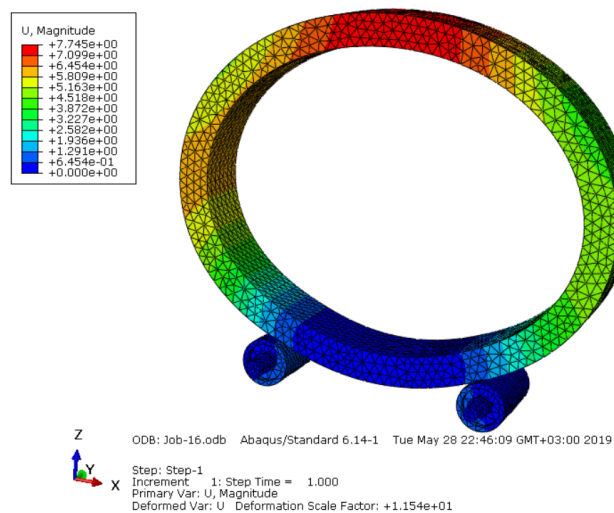


Рисунок 6.18 – Розподіл приведених за Мізесом переміщень від дії масових сил

Висновок За результатом розрахунку в програмі ABAQYS статичної постановки задачі ми отримали максимальне напруження в елементі яке становить 95,26 Мпа, що не перевищує границю міцності металу. Максимальне переміщення бандажа та опірної пристрою по трьох напрямках що становить 77,45 мм.

6.4 Розрахунок 3d моделі модернізованої опірної станції

Для підтвердження працездатності опірної пристрою обертового барабана було виконано розрахунок модернізованого опірної пристрою, методом

скінченних елементів. Розрахунок поставленої задачі методом скінченних елементів було виконано з використанням студентської версії програмного комплексу ABAQYS. Послідовність виконаних операції наведено на рисунках 6.19 – 6.

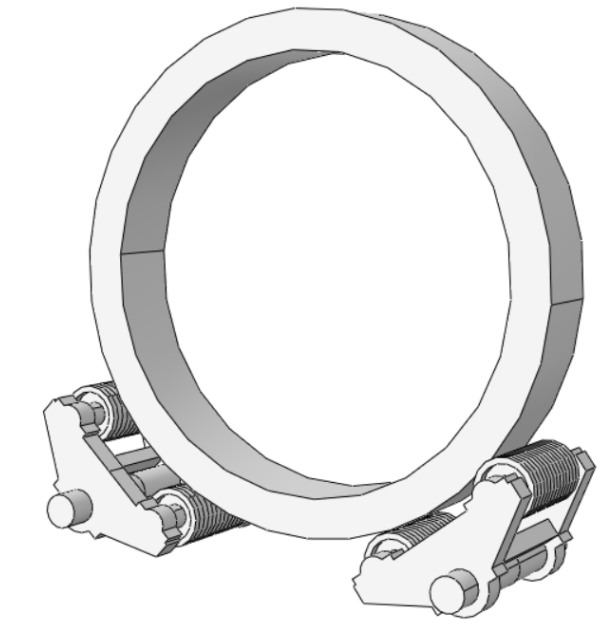


Рисунок 6.19 – Імпортована 3d геометрія перегородки з файлу «.stp»

З допомогою «auto mesh» було виконано розбивку 3d моделі на сітку кінцевих елементів (рис 6.20)



Рисунок 6.20 – Сітка кінцевих елементів опірною пристрою

Подальшим кроком ми задали властивості матеріалу та присвоїли їх об'єкту (рис 6.21)

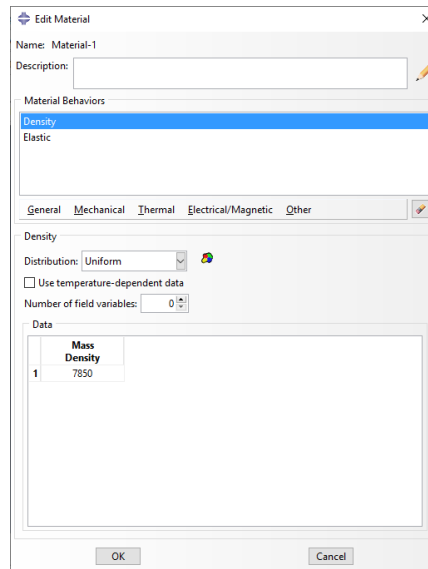


Рисунок 6.21 – Вікно програми для задання властивостей матеріалу

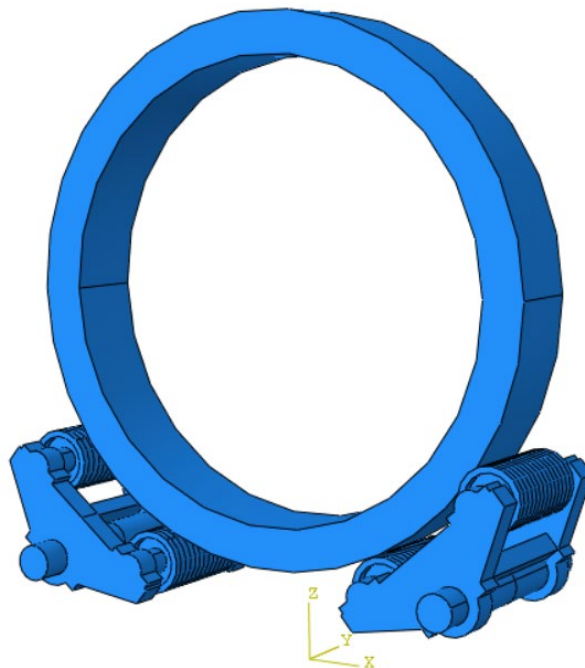


Рисунок 6.22 – створений блок ASSEMBLY

Шарнірно закріплюються опори обертового барабана, та симетрично закріплюється бандаж для імітації корпусу обертового барабана.

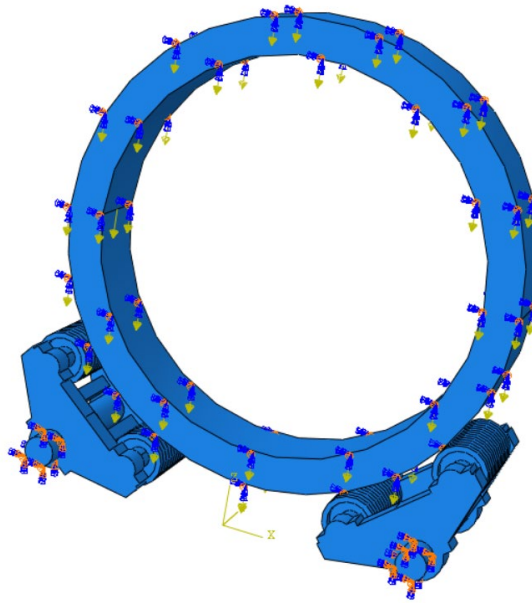


Рисунок 6.23 – Закріплення опірною пристрою

Навантаження опірною пристрою від дії масових сил корпусу печі та матеріалу який в ній знаходиться наведено на рис 6.24

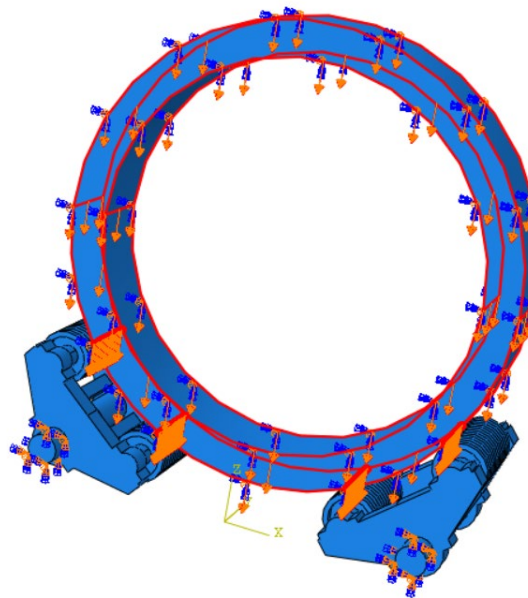


Рисунок 6.24 – Прикладене навантаження на опірний пристрій

Результати розрахунку опірною пристрою від дії масових сил корпусу печі та матеріалу який в ній знаходиться наведено на рисунках 6.25 - 6.26.

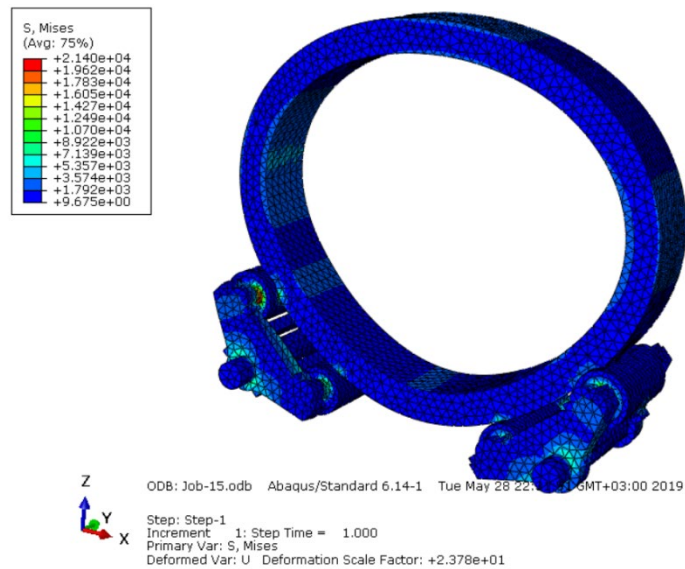


Рисунок 6.25 – Розподіл приведених за Мізесом напружень від дії масових сил

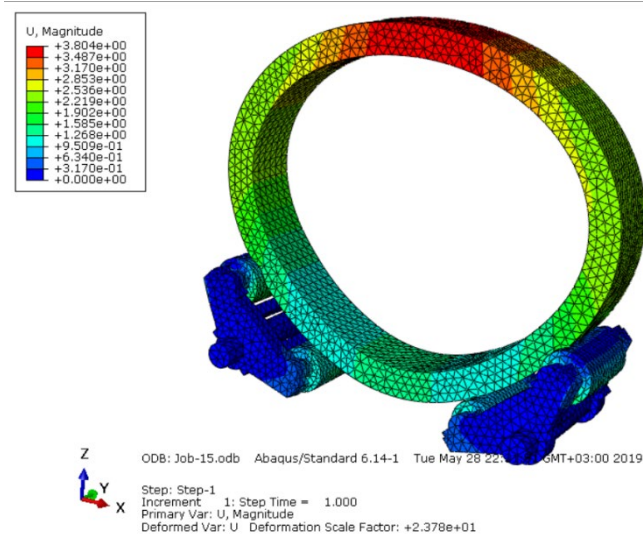


Рисунок 6.26 – Розподіл приведених за Мізесом переміщень від дії масових сил

Висновок За результатом розрахунку в програмі ABAQYS статичної постановки задачі ми отримали максимальне напруження в елементі яке становить 21,40 Мпа, що не перевищує границю міцності металу. Максимальне переміщення бандажа та опірною пристрою по трьох напрямках що становить 38,04 мм.

6.5 Підтвердження працездатності модернізованої установки та аналіз достовірності отриманих результатів

Шляхи вирішення конструктивних проблем обертового барабана :

1) Бандаж відчуває також напруги зминання в місцях контакту з опорними роликами і дотичні напруження через напруження ковзання по роликам. Для зменшення контактних напружень збільшується кількість опірних роликів.

2) У горизонтально розташованих перетинах бандажа згинальні моменти негативні, отже, тут вони збільшують кривизну бандажа. Звідси випливає, що під тиском корпусу печі і дією власної ваги бандаж витягується уздовж горизонтального діаметра. Щоб забезпечити рівномірний контакт і відповідно розподіл тиску між всіма роликами та бандажем ролики встановлюють попарно та закріплюють шарнірно.

Для моделювання НДС конструкцій, зокрема обертової печі, скористаємося загальними співвідношеннями механіки деформованого твердого тіла - рівняннями руху і збереження енергії

$$\rho \frac{d^2 u^i}{dt^2} = \nabla_j \sigma^{ij} + f^i,$$

$$\frac{dU}{dt} = \sigma^{ij} \frac{d\varepsilon_{ij}}{dt} - \nabla_i q^i + Q_V,$$

де ρ – густина матеріалу, u^i – компоненти вектора переміщень, σ^{ij} – контраваріантні компоненти тензора напружень, f^i – компоненти вектора об'ємних силових навантажень, U – внутрішня енергія одиниці об'єму матеріалу, ε_{ij} – коваріантні компоненти тензора деформацій, q^i – компоненти вектора теплового потоку, Q_V – джерело теплової енергії одиниці, віднесений одиниці об'єму матеріалу.

Для отримання замкнутої системи рівнянь до (1) - (2) необхідно додати геометричні рівняння Коші для повних деформацій ε_{ij}

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i u_j + \nabla_j u_i),$$

співвідношення для пружних деформацій $\varepsilon_{ij}^{(e)}$, як різниця між повними і тепловими деформаціями

$$\varepsilon_{ij}^{(e)} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^{(T)},$$

$$\varepsilon_{ij}^{(T)} = \alpha_{(T)} (T - T_0) g_{ij}$$

рівняння узагальненого закону Гука для напружень з урахуванням теплових деформацій

$$\sigma^{ij} = C^{ijmn} \varepsilon_{mn}^{(e)} = C^{ijmn} (\varepsilon_{mn} - \varepsilon_{mn}^{(T)}),$$

а також закону Фур'є, який дозволяє визначити вектор теплового потоку через температуру T

$$q_i = -\lambda \nabla_i T,$$

і залежно від температури внутрішньої енергії U

$$U = c_V T + const,$$

де C^{ijmn} – компоненти тензора пружності, g_{ij} – компоненти метричного тензора, $\alpha_{(T)}, \lambda, c_V$ – коефіцієнти теплового розширення, теплопровідності і теплоємності матеріалу.

При визначенні НДС граничні умови можуть бути сформульовані або щодо напружень (статичні умови)

$$\sigma^{ij} n_j \Big|_{S_p} = p^i,$$

де p^i – компоненти зовнішніх поверхневих сил, віднесених до одиниці площі зовнішньої поверхні, S_p , n_j – компоненти одиничного вектора зовнішньої нормалі до поверхні тіла, або щодо переміщень (кінематичні умови)

$$u^i \Big|_{S_U} = \tilde{u}^i,$$

де \tilde{u}^i – компоненти вектора вимушених переміщень, які задані на поверхні, S_U або в змішаному варіанті (змішані граничні умови), коли частина рівнянь є статичними, а інша – кінематичними умовами, але загальна кількість рівнянь в кожній точці зовнішньої поверхні повинна бути незмінною.

Для визначення напруг в корпусі обертового барабана використовувалася інтегрована система VESNA, розроблена на кафедрі ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Зазначена система призначена для моделювання гідродинамічних, теплових процесів і розрахунків на міцність з використанням методу скінченних елементів. В системі враховуються процеси лінійного та нелінійного деформування просторових комбінованих систем, виконаних з ізотропних та анізотропних матеріалів.

Для апробації математичної моделі і алгоритмів розрахунку була досліджена обертається піч 6.5х90м з вварним бандажем.

З точки зору будівельної механіки в розрахунковому відношенні корпус обертової печі являє собою тонкостінну циліндричну оболонку, яка встановлена на декількох опорах. Опорними елементами є бандажі, встановлені в підбандажній обічайці.

Основними навантаженнями є власна вага корпусу печі, футерування, бандажів і ведучого зубчастого колеса. Значно меншу частину становить вага

оброблюваного матеріалу, тому в розрахунках він звичайно не враховується. При визначенні зусиль, які діють на піч, вплив її поздовжнього нахилу на величину зусиль зазвичай не враховується, так як він незначний і складає 3-4%.

Конструктивні елементи обертового барабана включають елементи корпусу, футерування.

Закріплення бандажа обертового барабана на опірних роликах моделюються рухомими опорами, які дозволяють бандажу рухатись по дотичній до його поверхні, і в той же час не дають йому можливості зміщуватись по нормалі.

На Рис.6.27. приведена розрахункова схема бандажа обертового барабана.

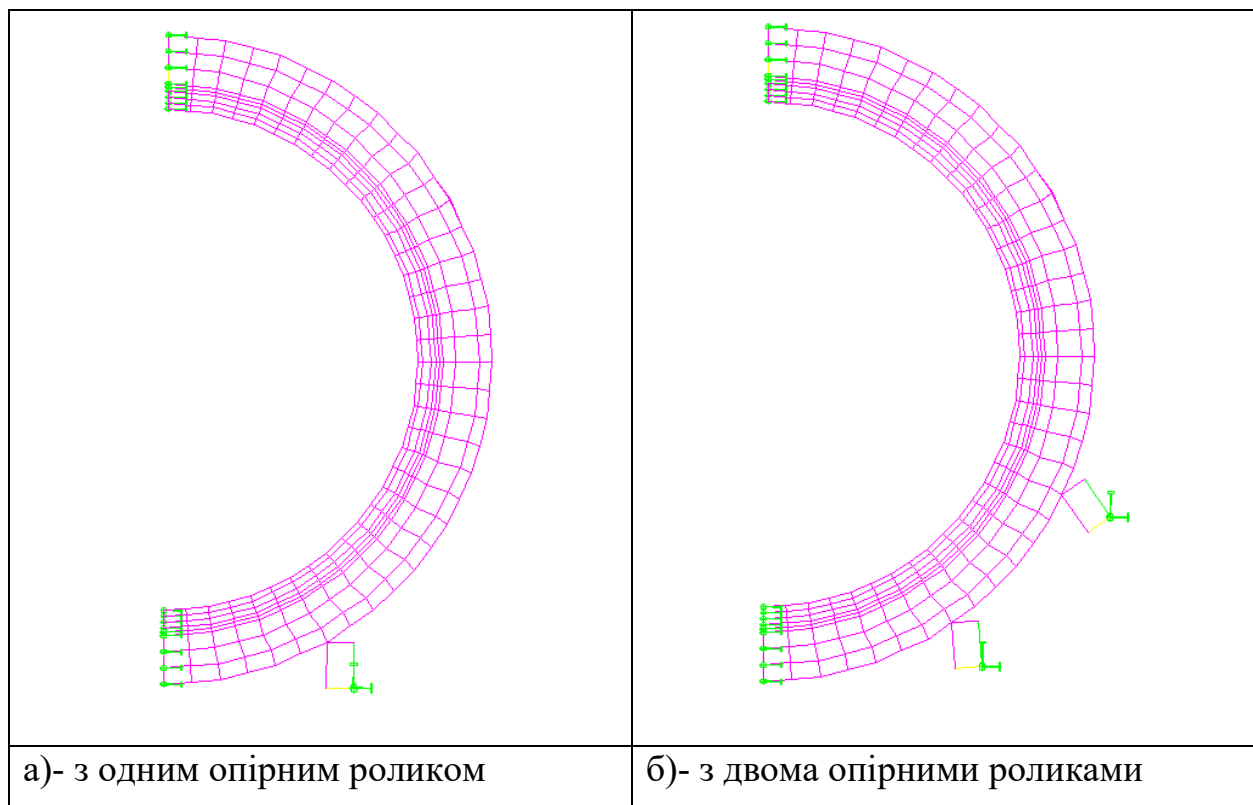


Рис.6.27- Розрахункова схема конструкції

Аналіз результатів чисельного моделювання.

На Рис.6.28 приведена деформована схема бандажа обертового барабана, з коефіцієнтом деформації 5000.

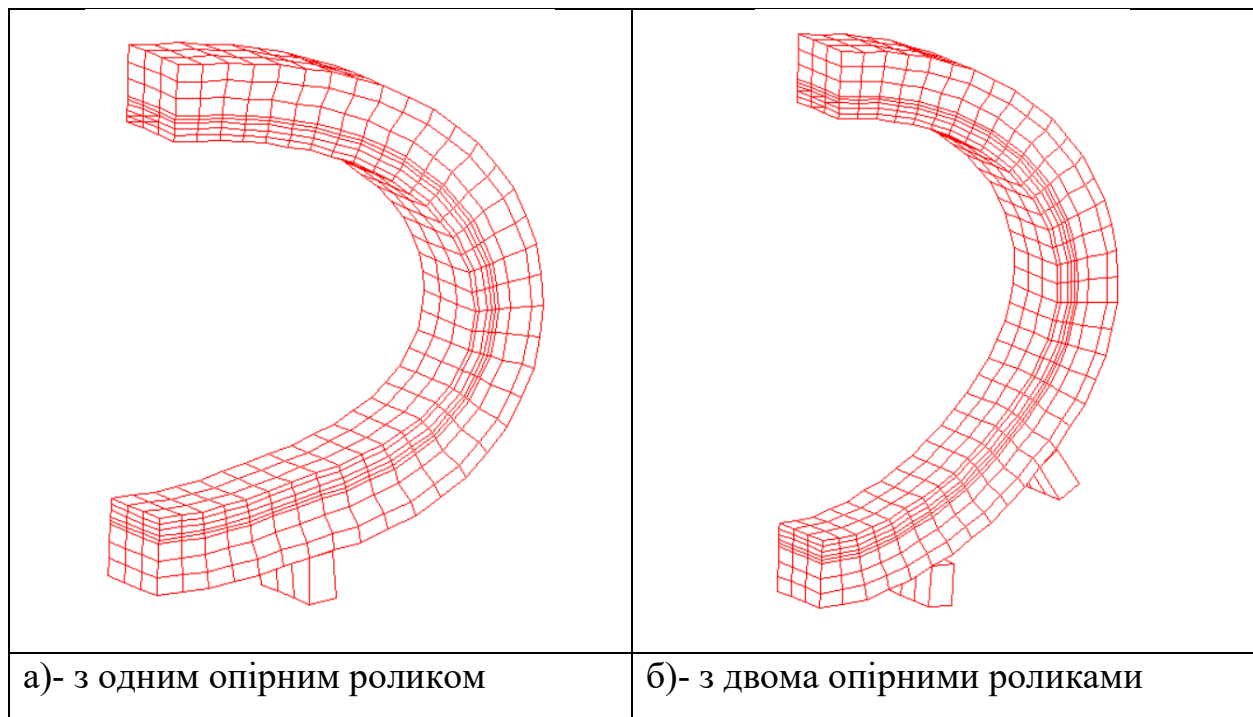


Рис.6.28- Деформована схема конструкції

Для визначення ресурсоспроможності бандажів враховується, що границя міцності матеріалу при циклічних навантаженнях істотно вища допустимих напружень $[G_v]=380-420$ МПа, тому визначення ресурсу роботи виконується за методами оцінки малоциклової втоми. Для цього скористаємось відомою залежністю :

$$G_a N^\mu = const ,$$

де G_a – амплітуда напружень, МПа; μ – показник ступеню; N – число циклів до руйнування.

Значення μ та $const$ визначаються по характеристикам матеріалу. Показник ступеню для більшості матеріалів становить $\mu=1/2$. Якщо врахувати, що матеріал з якого виготовлений бандаж не змінюється, то можна записати:

$$G_a^\sigma \cdot N_1^\mu = G_a^y \cdot N_2^\mu ,$$

або

$$N_2 = N_1 \left(G_a^\sigma / G_a^y \right)^\frac{1}{\mu}$$

Амплітуда та середнє напруження циклу визначаються з залежностей:

$$G_a = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{2}; G_m = \frac{G_{\max} + G_{\min}}{2},$$

де G_{\max}, G_{\min} – максимальне та мінімальне напруження циклу; б, у – базова та вдосконалена модель відповідно.

Враховуючи, що ресурс роботи для базової моделі складає 15 років.

Таблиця 1. – Ресурс роботи бандажа обертової печі після модернізації

Бандаж	G_a^b , МПа	G_m^b , МПа	G_a^y , МПа	G_m^y , МПа	$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$	Ресурс роботи, рік	Δ Ресурсу, рік
В1	4,025	19,4	2,05	19,08	1,97	29,52	14,52

Відносне зменшення середнього напруження циклу у базовому та вдосконаленому бандажах визначається по залежності $100(1 - \sum G_m^y / \sum G_m^b)$, і становить для бандажу – 49,19% .

Підтверджуючий розрахунок ефективності модернізованої конструкції опори обертового барабана.

Виконані 3D-моделі конструкції опори обертового барабана для подальшого розрахунку на міцність методом скінченних елементів.

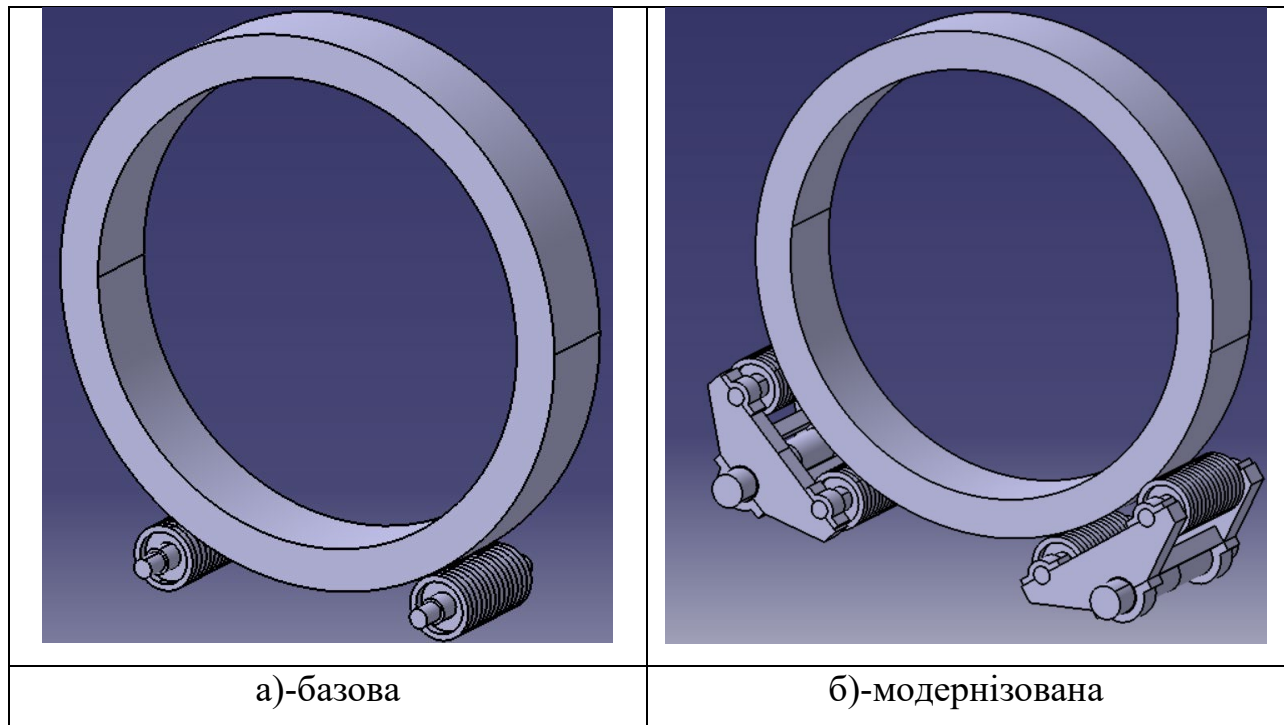


Рис.6.29- Розроблена 3D-модель конструкції

Для підтвердження працездатності опірною пристрою обертового барабана було виконано розрахунок базового та модернізованого опірною пристрою, методом скінченних елементів.

На Рис.6.30 представлено скінченно елементну модель опірною пристрою

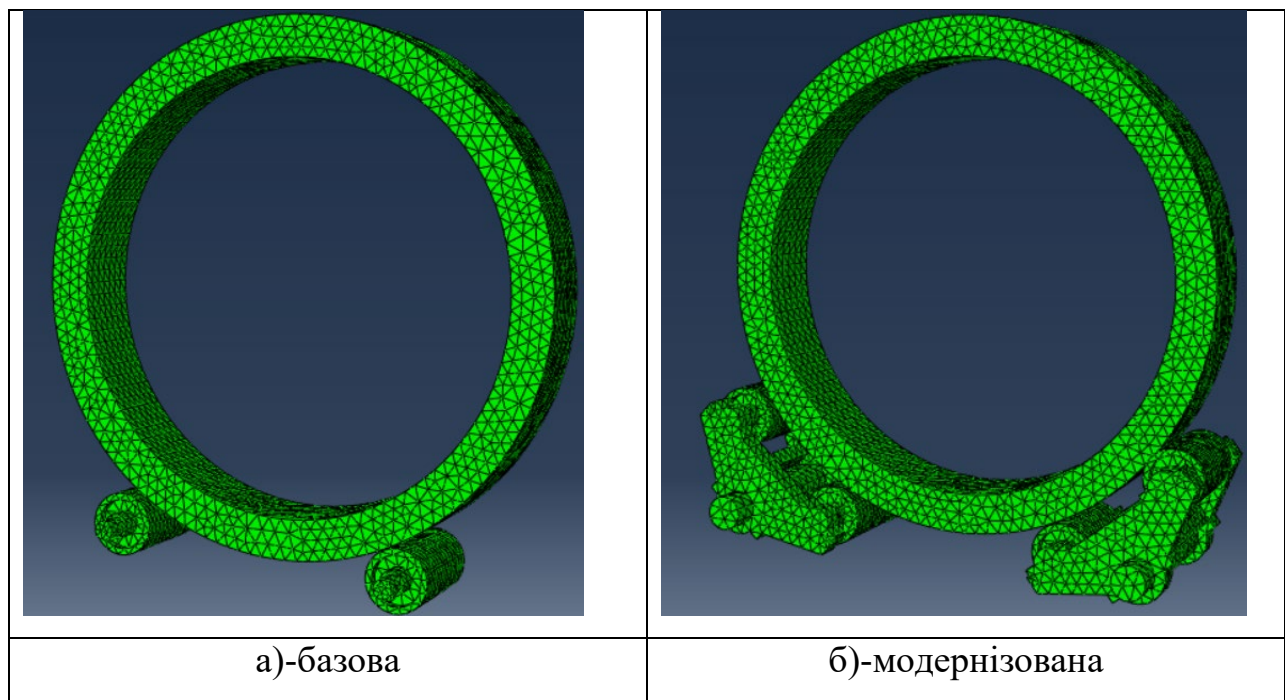


Рис.6.30- Сітка кінцевих елементів опірною пристрою

Розрахунок поставленої задачі методом скінченних елементів було виконано з використанням студентської версії програмного комплексу ABAQYS.

Результати розрахунку конструкції опірною пристрою обертового барабана від дії маси печі з матеріалом наведено на рисунку 6.31.

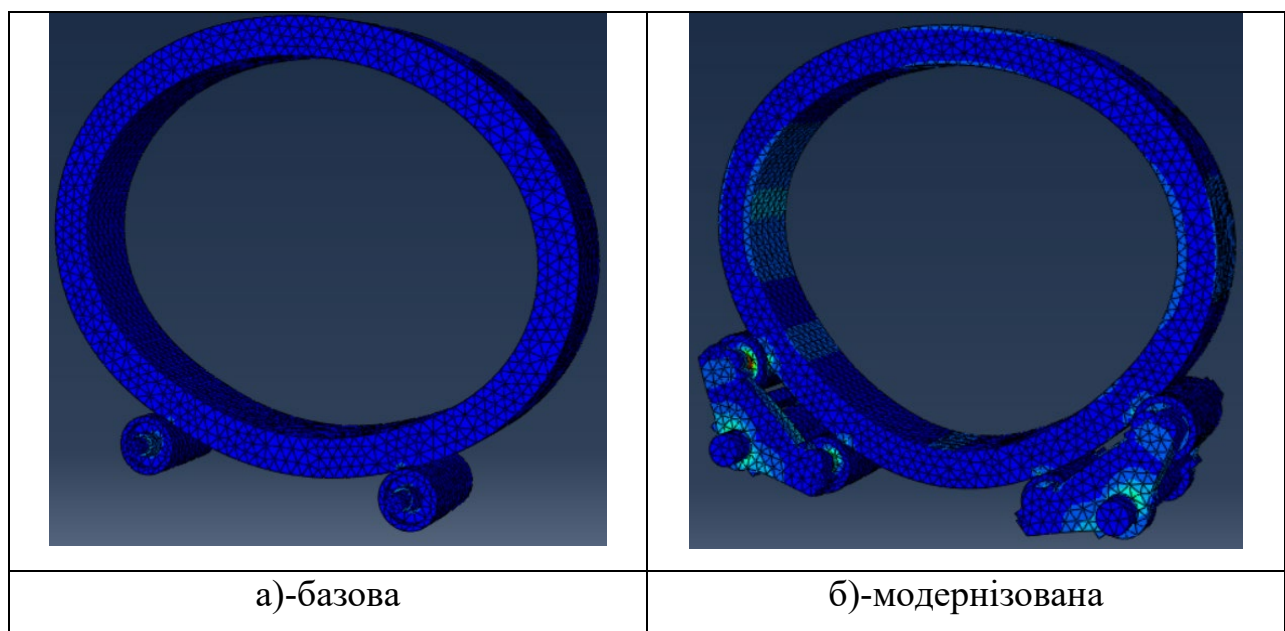


Рис.6.31- Розподіл приведених за Мізесом напружень

З результатів розрахунку на міцність ми можемо визначити приведені навантаження які виникають в бандажі обертового барабана від дії масових сил. На Рис.5 представлені результати розрахунку в інтегрованих системах ABAQYS та VESNA

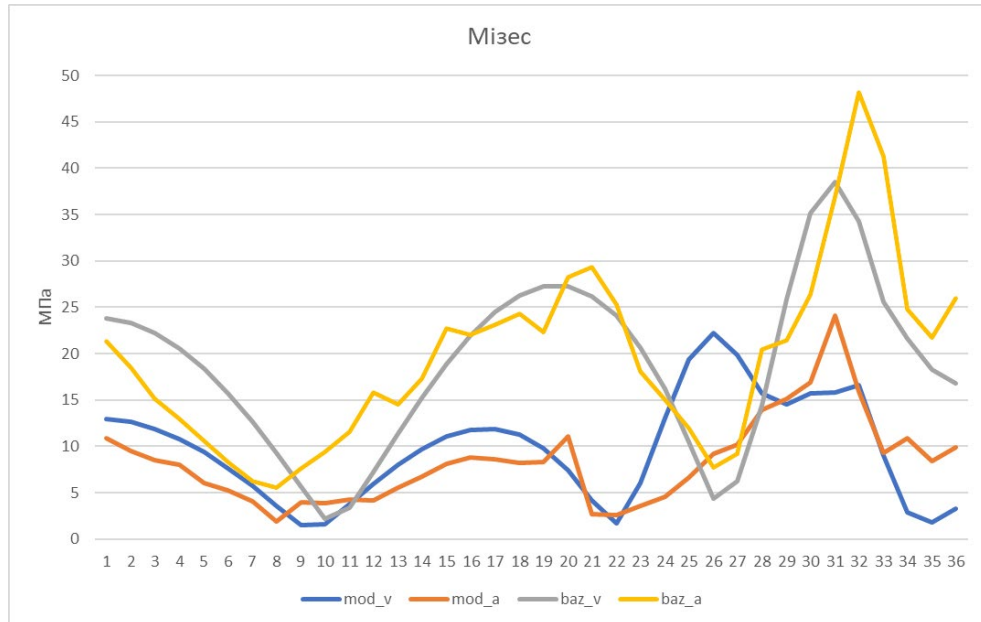


Рис.6.32- Приведенні напруження в бандажі : mod_v – модернізована опора (VESNA) ; mod_a - модернізована опора (ABAQYS) ; baz_v – базова опора (VESNA) ; baz_a - базова опора(ABAQYS).

Висновок: Отримані дані підтверджують ресурсо-ефективність розглянутого опірної механізму та дають можливість його безпосереднього впровадження в технологічний процес.

Використання математичної моделі дозволяє виконувати точні розрахунки та визначити напружено-деформований стан опори обертового барабана.

Отримані результати розрахунку підтвердили працездатність модернізації ,так як отримані максимальні напруження не перевищують допустимі .

Пропонована модернізація забезпечує зменшення напружень та їх амплітуди, за рахунок створення рівномірного контакту, та розподілу напружень, між всіма опірними роликками та бандажем обертового барабана, тим самим підвищує ресурс роботи бандажів та роликів.

7 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

7.1 Опис ідеї проекту

Завод з виробництва портланд цементу та бетонних сумішей для 3D-принтерів на базі існуючого підприємства за рахунок його модернізації або створення нового за наявності інвестицій.

Потенційні клієнтні аудиторії:

-Виробництво портланд цементу для потреб держав в будівництві : будинків зокрема для 3D- принтерів та автомобільних доріг;

-Виробництво портланд цементу сухим способом , а також бетонні суміші з його використанням.

Результат стартапу задовольняє потреби в будівельних матеріалах. Так як все більше відбувається впровадження будівництва доріг з бетону , тому що вони є більш довговічними та мають меншу ціну на 20 %. Також виробництво бетону є незалежними від видобування та вартості нафти з якої отримують основний компонент асфальтних доріг – бітум.

У зв'язку зі збільшенням популярності стартапу з будівництва на 3D-принтері будівель , який використовує бетонну суміш буде збільшуватись попит і на цемент.

Переваги:

1)Зменшуються строки поставки так як виробництво цементу та продуктів з нього суміщене.

2)Краща якість.

3)Виробництво бетонних сумішей для 3D- принтерів.

4)Зменшення ціни за рахунок використання технологій виробництва цементу сухим способом ,так як при цьому способі зменшується використання найдорожчого компонента – палива (газ , мазут).

7.2 Динаміка ринку за останні 5-8 років.

Динаміка ємності ринку товарного бетону України в розрізі складових в 2013-2017 рр.

Показник	2013	2014	2015	2016	2017
Вир-во, тис. т	13509,8	11093,5	10855,1	14066,4	16233,4
Імпорт, тис. т	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Експорт, тис. т	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ємність, тис. т	13509,8	11093,5	10855,1	14066,4	16233,4
Приріст, %		-17,9%	-2,1%	29,6%	15,4%

Джерело: за даними Державної служби статистики України, державної митної служби України, оцінка Pro-Consulting

Динаміка виробництва клінкеру цементного в Україні в 2013-2017 рр. в натуральному вираженні, тис. т



Аналізуючи тенденції ринку виробництва цементного клінкеру та продажу цементу ми бачимо що ринок в Україні стабільно зростає.

7.3 Тенденції ринку

У найближчі роки ринок цементу та бетону буде вельми перспективним: валютний курс, як і економіка країни в цілому стабілізується, будівництво будівель і споруд збільшується, розглядається питання про перехід на цементобетонне покриття доріг.

Також у зв'язку із закриттям виробництв на окупованих територіях, та тих, що імпортували сировину, попит буде підвищуватись.

При цьому Скільський відзначає прагнення цементників до модернізації та реконструкції, навіть незважаючи на складну ринкову кон'юнктуру. Йдеться про

відхід від застарілого і енерговитратного "мокрого" виробництва, перехід з природного газу на вугілля і створення замкнутого циклу помелу цементу [5].

Володимир Омелян, міністр інфраструктури України зазначив: "Ми давно говоримо про цементні дороги. І моя мрія, як міністра, щоб, принаймні, Схід і Південь України мали бетонне покриття автодоріг. Плани 2015-2016 рр. були зруйновані нашою реальністю, коли 95% автодоріг були вже непридатні для використання. Ми повинні їх зараз ремонтувати і відновлювати до попереднього стану. Одночасно, дивлячись вперед, ми розуміємо, що альтернативи бетонним дорогам немає. З таких доріг, які ми вже плануємо по будівництву в бетоні, - це будуть дороги Дніпропетровської, Миколаївської, Закарпатської областей. Це буде, принаймні, південна частина дороги, яка з'єднає Гданськ і Одесу» [6].

Оскільки експорт і імпорт цементу і бетону не має сильного впливу на ємність ринку даних товарів, то динаміка виробництва показує таку ж тенденцію, як і динаміка місткості ринку цементу та бетону. В Україні все більше починають будувати і проводити ремонти різних будівель і споруд, тим самим сприяючи збільшенню виробництва цементу та бетону.

Одним з основних чинників стрімкого зростання на ринку товарного бетону є розвиток будівельного ринку, зокрема в даний час найбільш широко застосовується монолітно-каркасна технологія, де бетон - основна складова.

Також ми орієнтуємося на перехід на цементобетонне покриття доріг тим самим збільшення попиту на бетон.

7.4 Аналіз внутрішнього маркетингового середовища підприємства

Таблиця 7.1

Аналіз внутрішнього маркетингового середовища підприємства

Внутрішні фактори	Вплив фактору	Симптоми
-------------------	---------------	----------

	Можливості	Загрози	проблеми/можливості
Наявність власного сировинного кар'єра	Незалежність від постачальників		Зменшення витрат на транспортування
Сухий спосіб виробництва клінкеру	Зменшення ціни		Зменшення собівартості
Наявність власної лабораторії	Підвищення якості продукції		Контроль складу сировини , та можливість власних розробок
Якість сировини		Погіршення якості продукції	Скарги технологів на сировину
Наявність власного ремонтного цеху	Незалежність і швидкість ремонту		Несвоєчасність та висока вартість окремого
Постачання сировини		Зростання ціни Строки поставки	Відкладання строків поставки Нефіксована ціна в договорі
Власний склад		За відсутності додаткові витрати	Підвищення собівартості , і ціни
Відсутність власного рекламного відділу		Ненадійність Залежність Ціна Відсутність контролю	Не відбувається зростання продажів Не часте оновлення реклами
Наявність власного бухгалтерського відділу	Контроль фінансів		Правильний розподіл прибутків та своєчасна виплата ЗП
Ціни на товари та послуги		Менша ціна у конкурентів	Конкуренти перейшли на більш дешевий спосіб виробництва.
Промислові потужності		Нестача товарів для споживачів	Втрата клієнтів
Асортимент		Споживачі замовлять у конкурента в одному місці всі товари	Зменшення попиту
Вхід до корпорації	Надійний юридичний захист , та інвестиції	Відсутність незалежного управління	Необхідність віддавати частину прибутку

7.5 Аналізу зовнішнього маркетингового середовища

Аналіз факторів макромаркетингового середовища.

Таблиця 7.2

Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Підвищення тарифів для підприємств		Підвищення собівартості	Модернізація обладнання
Додаткові податки для підприємств розміщених в межах міста		Підвищення собівартості	Створити умови для зменшення викидів та шуму
Захоплення ринку іноземними компаніями		Витримати конкуренцію	Створити конкурентну перевагу
Підвищення мита на імпортовану сировину		Підвищення собівартості	Знайти альтернативні джерела для сировини

Таблиця 7.3

Підсумкова таблиця факторів економічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Рівень інфляції		Підвищення цін	Зробити акцент на дешевшу частину асортименту
Період кризи		Зменшення продажу	Виходити на нові , та закордонні ринки
Зменшення кількості купівлеспроможного населення		Зменшення обсягів продажу	Виходити на нові , та закордонні ринки

Таблиця 7.4

Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Створення 3д- принтерів	Підвищення прибутки		Створити лінійку бетонних сумішей для 3д- принтерів
Впровадження каркасного ЖБ	Підвищення прибутки		Займатися продажем готових бетонних сумішей
Впровадження енергоефективних технологій	Підвищення прибутки		Розробка багат шарової конструкції стіни для друку на 3д- принтерах
Поганий зв'язок науки з виробництвом		Несвоєчасне впровадження	Налагодження зв'язків підприємства з науковими

		я , застарілість обладнання	бюро, або навчальними закладами.
--	--	-----------------------------------	-------------------------------------

Таблиця 7.5

Підсумкова таблиця факторів демографічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливо сті	Загрози	
Еміграція робочих кадрів		Зменшення робочих ресурсів	Створити конкурентні умови праці. Автоматизація роботи підприємства. Залучення іноземців.
Чисельність населення		Підприємств о буде працювати не на повний обсяг	Будувати новий завод максимально близько до великого міста
Більш старіший віковий склад		Нерозуміння , та боязнь нових технологій	Зміна технологій маркетингу та реклами

Таблиця 7.6

Підсумкова таблиця факторів соціо-культурного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можлив ості	Загрози	
Державні тендери перемагають підприємства можновладців.		Мала ймовірність виграти тендер	Створювати конкурентні переваги
Європейська націленість населення	Підвищ ити продаж		Використовувати в маркетинговій стратегії (назвах) «Європейську якість»
Бажання населення заощадити кошти		Перехід клієнтів до конкурентів з меншою ціною	Створити в асортименті більш дешеві вироби , або зробити акцент тільки на якості.

Таблиця 7.7

Підсумкова таблиця факторів природного середовища.

Фактори	Вплив фактору	Альтернативні шляхи
---------	---------------	---------------------

	Можливо сті	Загрози	вирішення проблеми чи реалізації можливості
Вартість енергоносіїв		Підвищення собівартості	Модернізація обладнання , перехід на альтернативні джерела енергії
Контроль родовищ державою		Сировина з націнкою	Взяти в розробку родовище й видобувати самостійно
Викиди в атмосферу		Додаткові податки	Модернізація очистних споруд
Велика залежність від сировини		Затримки в постачанні , ціна транспортув ання	Максимально близьке розміщення підприємства до кар'єра з сировиною

7.6 Аналіз факторів мікроркетингового середовища.

Таблиця 7.8

Підсумкова таблиця впливу споживачів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливо сті	Загрози	
Чисельність споживачів		Недостатня кількість споживачів	Розміщення підприємства ближче до великого міста
Рівень доходів споживачів		Перехід до конкурентів з меншою ціною	Зменшення ціни за рахунок модернізації обладнання
Частота покупок споживачів		В основному покупки за необхідністю	Зацікавити споживачів цікавими рішеннями, зробити акцент на державні замовлення .
Віковий склад споживачів		Всі споживачі зрілого віку	Робити рекламу з врахуванням вікового складу споживачів

Таблиця 7.9

Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору	Альтернативні шляхи
---------	---------------	---------------------

	Можливо сті	Загрози	вирішення проблеми чи реалізації можливості
Висока ціна		Перехід до конкурентів з меншою ціною	Зменшення ціни за рахунок модернізації обладнання
Низька якість		Зменшення кількості клієнтів	Модернізація обладнання, покращення контролю сировини
Конкуренція		Втрата клієнтів	Покращення якості, розширення лінійки товарів та послуг, реклама

Таблиця 7.10

Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливо сті	Загрози	
Якість сировини постачальників		Погіршення якості сировини	Додатковий контроль лабораторії
Строки постачання		Перебої в постачанні	Наявність власного родовища з сировиною
Вартість постачання		Підвищення собівартості виробництва	Перегляд ціни товарів, зміна постачальника
Зовнішні ремонтні відділи		Перебої в роботі обладнання	Створити власний ремонтний відділ (цех).

Таблиця 7.11

Підсумкова таблиця впливу контактних аудиторій

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Участь у зборах, об'єднаннях	Не відставати від тенденцій		Набуття нового досвіду, інформації, знайомств, співпраць
Участь в тендерах	Підвищити прибутки		Підвищення продажу продукції (у випадку виграшу) , додаткова реклама
Співпраця з міжнародними компаніями	Підвищити прибутки		Вихід на міжнародний ринок, збільшення продажу, здобуття додаткового досвіду

Слабкі та сильні сторони альтернативних шляхів.

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1. Розробка сумішей для 3-д принтерів	Додаткові витрати на лабораторію	Створення конкурентної переваги
2. Власний кар'єр	Додаткові витрати, створення ще одного підрозділу	Підвищення якості сировини, незалежність від постачання
3. Вхід до міжнародної компанії	Залежність від компанії	Розширення ринку збуту, додаткові інвестиції
4. Створення власного сайту	Витрати на створення оновлення і підтримку	Розширення клієнтської бази

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми є -створення підрозділу компанії який буде аналізувати управлінські проблеми, та конкурентні переваги

Висновок: було виконано розробку стартап проекту з створення підприємства з виробництва портланд цементу сухим способом та бетонних сумішей для 3D-принтерів на базі існуючого підприємства за рахунок його модернізації або створення нового за наявності інвестицій. Проаналізовано динаміку ринку та тенденції подальшого розвитку. Виконано аналіз внутрішнього, зовнішнього маркетингового середовища підприємства та аналіз факторів мікроринкового середовища. Визначені слабкі та сильні сторони ідї стартап проекту.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Термін «охорона праці» у вузькому розумінні завжди означав створення для працівників здорових й безпечних умов праці. В Україні основним нормативним документом, що регламентує питання охорони праці на виробництві є Закон України «Про охорону праці». Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці.

У даному розділі зазначені шкідливі виробничі фактори, які наявні при обслуговуванні обертової печі для випалу цементного клінкеру, та розроблені заходи по їх усуненню.

В наступних пунктах розглянуті такі небезпечні умови праці, що присутні на робочому місці оператора по обслуговуванню обертової печі:

- виробничий шум;
- вібрація;
- небезпека ураження електричним струмом;
- запиленість повітря;
- пожежна небезпека

8.1 Виробничий шум

Насичення виробництва машинами і механізмами супроводжується інтенсивними шумом, які справляють негативний вплив на працездатність і здоров'я працівників. Механічні коливання вузлів і деталей викликають коливання повітря і сприймаються органами слуху людини як звуки. Комплекс хаотичних звуків, різних за частотою та інтенсивністю, які викликають неприємні суб'єктивні відчуття, називається шумом [26].

При роботі обертової печі шуми являються непостійними, рівень шуму яких за повний робочий день при роботі технологічного обладнання змінюється більш ніж на 5 дБА.

Ступінь негативного впливу шуму залежить від сили і частоти звуку, тривалості його дії, фізичного і психічного стану людини.

Шкідливий вплив виробничого шуму виявляється як у вигляді специфічного ушкодження органів слуху, так і у вигляді порушень багатьох інших органів, в першу чергу центральної нервової системи. Інтенсивний виробничий шум призводить до часткової або повної втрати слуху. Зміни слуху настають при дії шуму більше 80 дБ і відбуваються протягом 3—5 років залежно від фізичного стану працівника.

Класифікація шуму:

за характером спектра — широкосмуговий з безперервним спектром більш як одна октава і тональний, у спектрі якого спостерігаються значні дискретні тони;

за характеристикою часу — постійний, рівень звуку якого за восьмигодинний робочий день змінюється щонайбільше на 5 дБ, і непостійний, рівень звуку якого за робочий день такої самої тривалості змінюється більш як на 5 дБ.

Непостійний шум, у свою чергу, поділяється на:

коливний, рівень звуку якого безперервно змінюється;

переривчастий, рівень звуку якого східчає змінюється (на 5 дБ і більше), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень звуку залишається постійним, становить 1 с і більше;

імпульсний, що складається з одного або кількох звукових сигналів, кожний тривалістю менше 1 с.

Під впливом шуму відбуваються зміни не тільки в слуховому центрі нервової системи, але і в тих відділах, які регулюють такі життєво важливі функції, як кровообіг, дихання, травлення, кровотворення, рухову діяльність та інші. Це зумовлено тим, що нервові імпульси від органів слуху посилюються ретикулярною формацією і поширюються по всьому мозку.

Так як при роботі обертової печі шуми непостійні, то максимально встановлені рівні звуку на робочих місцях відповідають величині 80 дБ. При такому рівні звуку забезпечується збереження слуху працюючих протягом 20 років. Основними напрямками боротьби з шумом на виробництві є:

розробка і впровадження заходів технічного характеру, які виключали б причини генерування шуму;

виведення персоналу із зон з високим рівнем шуму за рахунок впровадження дистанційного управління;

впровадження фізіологічно обґрунтованих режимів праці і відпочинку;

застосування індивідуальних захисних засобів.

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методу звукоізоляції. Фізична суть звукоізоляції полягає в тому, що найбільша частина падаючої звукової енергії відбивається від спеціально виконаних огорож і тільки незначна частина проникає через огорожу.

Істотно знизити шум в приміщенні, де працює оператор, можна, якщо на його шляху поставити ізолюючі перешкоди: стіни, перегородки, перекриття, звукоізолюючі кожухи та екрани [26].

Рівень звукового тиску та еквівалентні умови звуку 60 дБА для постійних робочих місць при працюючій печі не повинні перевищувати припустимих величин.

При роботі обертової печі рівень звуку досягає значення 75 дБА . Таким чином, фактичний рівень звуку нижче, ніж припустимий.

8.2 Вібрація

Джерелом вібрації являються: електродвигун і обертаючі частини лінії. Зусилля вібрації починається з неточності установки обертаючих частин, з нещільного з'єднання корпусів обертаючих частин до фундаменту. У даному випадку спостерігається технологічна вібрація. Робітник слабо піддається вібрації, бо знаходиться далеко від основи машини – біля пульта управління. Таким чином спільна вібрація не діє на організм оператора. Рівень технологічної вібрації в виробничому приміщенні не перевищує 90 дБ при частоті 4 Гц.

Засоби індивідуального віброзахисту – це спеціальне взуття на вібропоглинаючій платформі, віброзахисні рукавиці, наколінники, нагрудники, пояси, спеціальні костюми, застосування технологічних процесів з низькими рівнями вібрації і шуму; впровадження дистанційного керування, що виключає постійне перебування працюючого у зоні небезпечних рівнів вібрації; дотримання раціональних режимів праці й відпочинку; огорожувальні засоби, які перешкоджають проникненню людини до зони дії вібрації, тощо. Віброгасіння – це зниження рівня вібрації машин та механізмів застосуванням додаткових пристроїв. Віброгасіння може бути статичним (спеціальні фундаменти для верстатів, моторів, пневматичні та пружинні підвіски в автомобілях) і динамічним (агрегати з дискретним збурюючим впливом, віброгасіння маятникового, пружинного, плаваючого та камерного типів) [26].

Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни. Тривалість неперервної дії вібрації не перевищує 10-15 хв. При такому режимі обідня перерва не менше 30 хвилин.

8.3 Електробезпека

Приміщення, в якому працює оператор по обслуговуванню обертової печі, відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою враження електричним струмом.(ПУЕ)

1. Для живлення установки використовується трифазна напруга 220/380 В та з частотою 50 Гц. з ізоляцією.
2. Основні причини нещасних випадків від дії електричного струму:
 - випадковий дотик, наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;
 - поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах електроустаткування у результаті пошкодження ізоляції або з інших причин;
 - поява напруги на відключених струмопровідних частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
 - виникнення напруги кроку на поверхні землі через замикання проводу на землю.

Для приміщень з підвищеною небезпекою характерно наявність одного з слідуєчих умов: сирість чи струмопровідячий пил; струмопровідяча підлога, висока температура; можливість одночасного дотику людини до маючих з'єднання з землею технологічних апаратів, механізмів і т. п. – з однієї сторони, і до металевих корпусів електрообладнання - з другої.

Безпека експлуатації електрообладнання забезпечується комплексом заходів, які можна поділити на три класи [26]:

1. Технічні захисні заходи, які запобігають дотик людини до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.

Дані заходи не допускають людину у небезпечну зону, де діють небезпечні та шкідливі виробничі фактори. До них відносяться: огорожі, висота розміщення не огорожених струмоведучих частин, ізоляція струмоведучих частин, блокування, зорова інформація про безпеку.

2. Технічні захисні заходи, які знижують ступінь поразки людини при дотику його до струмоведачущих частин, що знаходяться під напругою, ізолюючі штанги, клещі, діелектричні рукавиці, діелектричне взуття, ізолюючі коврики.
3. Організаційні захисні заходи.

Організаційні захисні заходи складаються з вимог технічної експлуатації та технічної безпеки при організації обслуговування електричних мереж та електроустановок.

Вимогою до персоналу є оцінка придатності персоналу при прийманні на роботу та періодичного медичного посвідчування.

Організаційними заходами, що забезпечують безпеку при виконанні робіт у електроустановках є: оформлення роботи, допуску до роботи, нагляд під час роботи, оформлення перерв та переведень на інші види робіт.

Обов'язковим заходом захисту у приміщеннях з підвищеної небезпекою є захисне заземлення, що усуває небезпеку поразки людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус.

У вибухонебезпечних приміщеннях заземлення електроустановок виконується при будь-якій напрузі живлення.

Захисне заземлення - навмисне з'єднання неструмоведачущих металевих частин електрообладнання, які можуть опинитись під напругою, з землею або її еквівалентом для захисту людей та тварин.

З'єднання металевих струмоведачущих частин обладнання з землею здійснюється за допомогою заземлюючого пристрою. Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювача (металевих провідників, що знаходяться у безпосередньому співдотику з землею,) та заземлюючих провідників, що з'єднують заземлюючі частини електроустановки з заземлювачем.

У випадку, якщо заземлення є ненадійним чи важковиконуємим заходом, застосовується захисне відключення, що забезпечує автоматичне вимикання електроустановки при виникненні в ній небезпеки поразки електричним струмом.

Така небезпека може виникнути, зокрема, при замиканні фази на корпус електрообладнання, при зниженні опору ізоляції фаз відносно землі, нижче визначеної межі, дотику людини до струмоведучої частини, що знаходиться під напругою.

8.4 Запиленість повітря

Робота машиніста по обслуговуванню обертової печі відноситься до категорії легких фізичних робіт з енерговитратами 630 кдж/год [8]. Приміщення відноситься до приміщень без надлишку явного тепла до 84 кдж/м³·год.

Фактичні параметри метеоумов забезпечуються наступними заходами:

у холодний час року підігрів приміщення батареями з теплоносієм водою, нагрітої до $t = 60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;

у теплий час року загальнобмінною вентиляцією через верхні прорізи вікон, через двері.

Кімната оператора управління знаходиться в приміщенні.

Приймаємо розміри кімнати такими:

$S = 6 \times 12 \times 4 = 288 \text{ м}^3$ Туди може попадати цементний пил.

Для такої кімнати вибираємо вентилятор МЦ-4, кількість обертів $n = 1410$, КПД = 0,3

8.5 Освітлення

Для оператора по обслуговуванню обертової печі характерний VI розряд зорової роботи [26]. При такому розряді характерними вимогами до освітлення є: рівномірне, природне та загальне штучне освітлення з локалізованим розміщенням світильників $E_{\text{пар}} = 200$ лк. Штучним джерелом освітлення промислового приміщення є дугові ртутні лампи ДРЛ-400 потужністю $N = 400$ Вт, у кількості $n = 4$ шт. і забезпечують світловий потік $\Phi = 19000$ лм, $E_{\text{фа}} = 250$ лк.

Для зовнішнього освітлення використовуються світильники типу

«Широкоизлучатель» ДБНВ 2.5.28-2006

Для охоронного, аварійного і ремонтного освітлення використовуються лампи розжарювання СПО-36/100, $N = 40$ Вт, $\Phi = 3600$ лм, тому що вони вигідні в

експлуатації, не вимагають додаткових пристосувань для включення в мережу. Світильники аварійного освітлення живляться від незалежного джерела.

Для місцевого освітлення використовується вакуумна лампа розжарювання НВ, що дає освітлення $E=200\text{лк}$.

Для контролю освітленості використовують люксметри Ю-116 не рідше ніж один раз у рік і кожного разу після ремонту освітлювальної установки [26]

8.6 Надзвичайні ситуації

До надзвичайних ситуацій віднесемо пожежну небезпеку, так як обертова піч працює з застосуванням газу. Приміщення, в якому працює машиніст, відноситься до вибухонебезпечної зони класу 2, де вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок [27].

Також причинами виникнення пожеж є:

- перегрузки;
- короткозамикаючі струми;
- порушення технологічного режиму
- несправність обладнання
- самозаймання матеріалів
- порушення графіка планового ремонту великий перехідний опір

Заходи:

- датчик сповіщувач;
- можливість (місце) паління, застосування відкритого вогню та побутових на-грівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних (в тому числі зварювальних) робіт;
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;

- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);
- порядок прибирання горючого пилу та відходів, зберігання промасленого спецодягу і шмаття, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;
- порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;
- порядок огляду і зачинання приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання та перевірки знань з пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;;
- порушення технологічного режиму

Пожежна безпека забезпечується засобами пожежного захисту які відповідають вимогам ГОСТ 12.1.004-85.

Для забезпечення пожежної безпеки приміщення обладнано автоматичною пожежною сигналізацією. Система пожежної сигналізації складається з пожежних повідомлювачів комбінованих, реагуючих на дим і тепло. Приміщення обладнане також засобами пожежогасіння. Для безпечної евакуації людей у випадку пожежі в приміщенні є два еваковихода в протилежних кінцях споруди. Максимальна допустима відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу є 60 м:

Ширина перших заходів пожежотушіння для проектуємої ділянки відносяться і внутрішні пожежні крани повинні бути розташовані на висоті 1,34 м від підлоги на сходах.

Система пожежогасіння забезпечується підвісними балонами, що кріпляться до стелі і мають площу гасіння 12 м², їх у виробничому приміщенні розташовано 50 одиниць. Балони за принципом дії спрацьовують при підвищенні температури до 80°C – пвідбувається плавлення і руйнування легкоплавкого замочка [27].

Вимоги до техніки безпеки при роботі з газовими печами:

1. На паливопроводі кожної печі повинно бути встановлено два крана: один — біля горілки, другий — за капітальною стіною чи в доступному місці на відстані не менше 15 м від печі.
2. Продувні свічки повинні бути на 2 м вище, ніж найвищі будівлі, розташовані від свічок не ближче, ніж на 50 м.
3. При наявності витоку газу слід негайно припинити експлуатацію газопроводу і терміново прийняти заходи до ліквідації витоку. У газопроводах забороняється підтримувати робочий тиск вище встановленого, відміченого на шкалі манометрів.
4. В кожній газовій печі на випадок падіння тиску газу нижче допустимого або припинення подачі повітря має бути встановлений клапан, що автоматично перекриває подачу газу.
5. Електроустаткування і освітлювальні прилади ділянок, де розташовані газові печі, мають бути виконані так, щоб запобігати можливості вибуху.
6. При запаленні газових пальників слід спочатку ввести в топковий простір печі факел, що горить, укріплений на довгому стрижні, після чого відкрити кран стислого повітря, а потім— газу. При припиненні роботи пальників спочатку треба закрити кран газу, а потім — повітря.
7. Якщо при запаленні пальників газ згасне, то необхідно припинити його подачу і провітрити топку, після чого знову пустити газ і запалити його.

8. Перед початком роботи печі ретельно продути газопровід газом, а піч і повітропровід — повітрям, випускаючи газоповітряну суміш назовні через продувочні свічки.
9. Забороняється продувати газопровід через пальники в топочний простір печі. При падінні тиску в газопроводі нижче 40 мм вод. ст. користування газом забороняється.

Висновок: в результаті виконання розділу охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях були визначені шкідливі виробничі фактори, які наявні при обслуговуванні обертової печі для випалу цементного клінкеру, та розроблені заходи по їх усуненню.

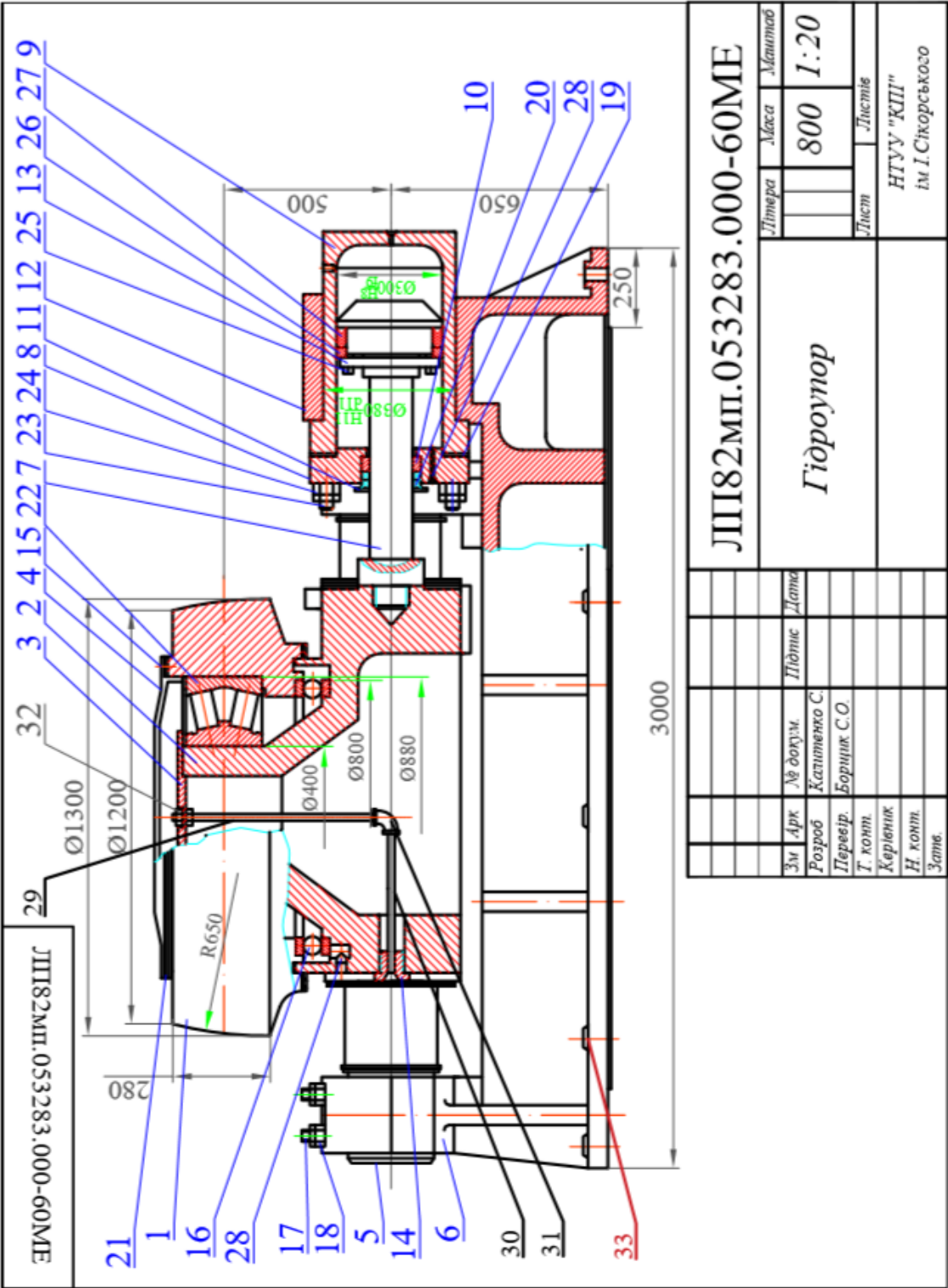
Розглянуті такі небезпечні умови праці, що присутні на робочому місці оператора по обслуговуванню обертової печі: виробничий шум; вібрація; небезпека ураження електричним струмом; запиленість повітря; пожежна небезпека. Визначена сутність небезпечних та шкідливих факторів, норми відповідно до законодавства, методи їх усунення або зменшення впливу.

Для того, щоб умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови відповідали вимогам нормативних актів про охорону праці.

9 МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ

9.1 Технологія складання гідроупора

9.1.1 Ескіз гідроупора



9.1.2 Специфікація

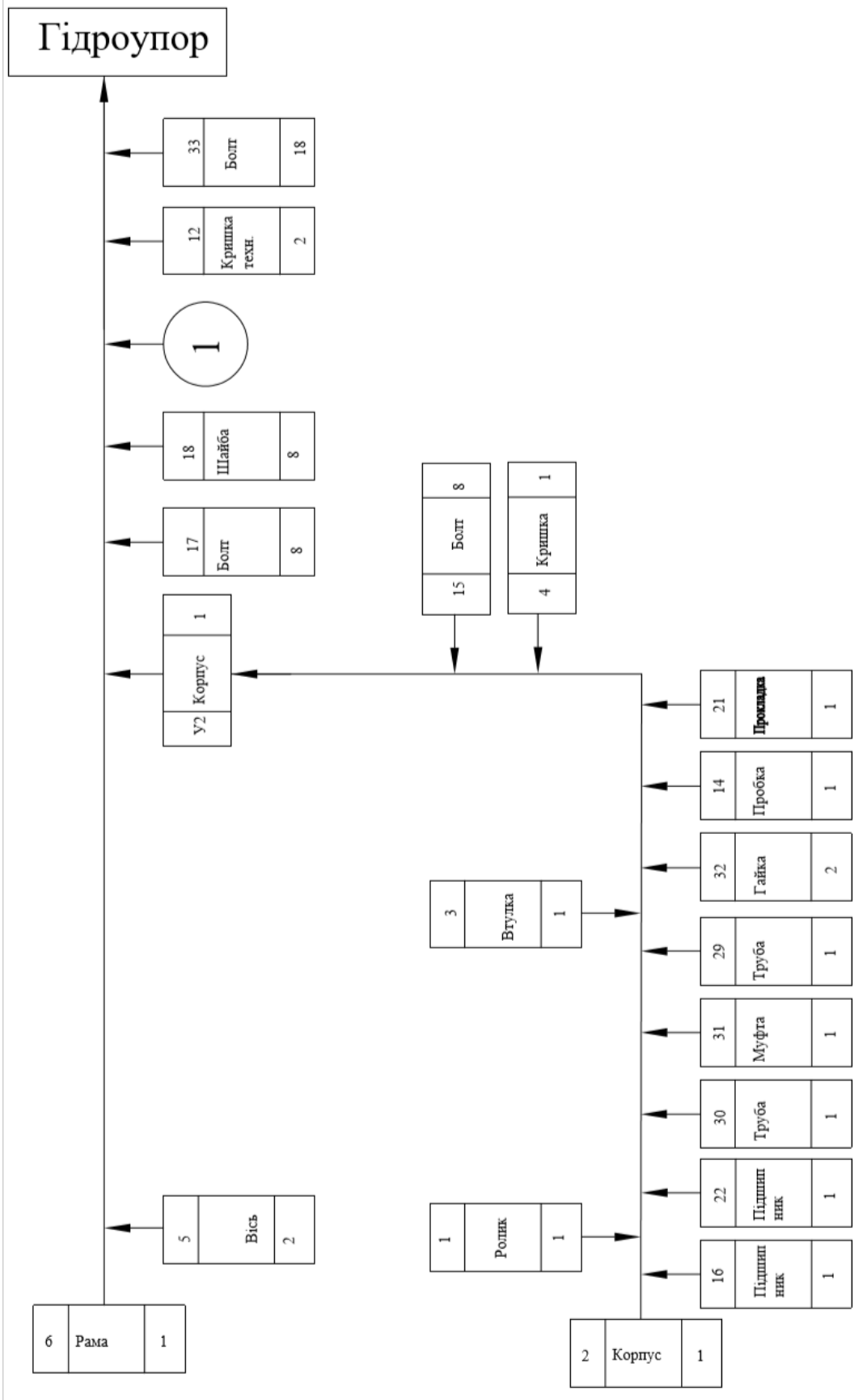
Формат	Зона	Поз	Позначення	Найменування	Кільк	Прим.
				<u>Документація</u>		
				Складальне креслення		
				<u>Деталі</u>		
		1		Ролик R650	1	
		2		Корпус	1	
		3		Втулка	1	
		4		Кришка Ø345	1	
		5		Вісь	1	
		6		Рама гідроупора	1	
		7		Шток гідроупора	1	
		8		Кришка з отвором Ø420	2	
		9		Кришка глуха Ø380	2	
		10		Вкладиш сталевий	2	
		11		Кришка притискна	2	
		12		Кришка технологічна	2	
		13		Кільце гідроупора Ø380	2	

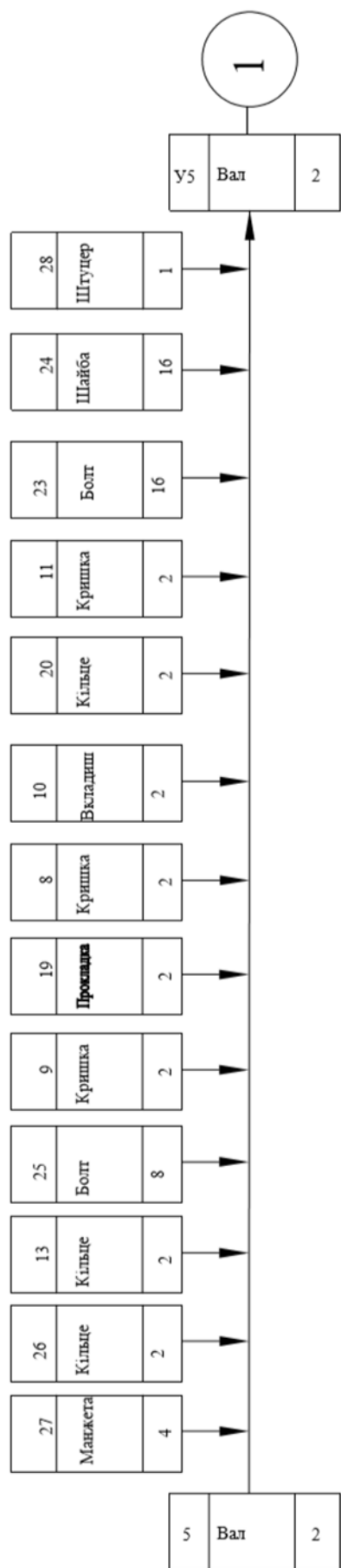
Зм.	Арк.	докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Калитенко С			Гідроупор	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Борщук С.О.					1	2
Н. контр.								
Затв.								

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Прим.
				<u>Стандартні вироби</u>		
		14		Пробка КГ 1/8	1	
				ГОСТ 12721–67		
		15		Болт М12х70	8	
				ГОСТ 7798–70		
		16		Підшипник спец.	1	
				ГОСТ 5721–75		
		17		Болт М16х80	16	
				ГОСТ 7798–70		
		18		Шайба 16Л	16	
				ГОСТ 6402–70		
		19		Прокладка гумова спец	2	
		20		Кільце спец. Ø300		
				ГОСТ 9833–73		
		21		Прокладка гумова спец	1	
		22		Підшипник спец.	1	
				ГОСТ 5721–75		
		23		Болт М20х100	16	
				ГОСТ 7798–70		
		24		Шайба 20Л Бр Кмц 3–1	16	
				ГОСТ 6402–70		
		25		Болт М18х40	8	
				ГОСТ 7798–70		
		26		Кільце нажимне спец.	4	
						Арк
Зм.	Арк	докум.	Підпис	Дата		2

[illegible]

9.1.3 Схеми складання





9.1.4 Операційна карта складання

ГОСТ 3.1407-74 Форма 1а

[illegible]

[illegible]

[illegible]

10013.1107/14 Форма 14

Інд. №	Підпис і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата		
		Номер операції				
Зміст переходу						
Номер переходу	Технологічний режим			Кіл.	Пристосування (код та найменування)	Інструмент (код та найменування)
	штупер 28					
9	Корпус в зборі 2 встановити на вісі 5, та помістити на раму 6 , зафіксувати вісі 5 болтами 17 з шайбами 18			2		Ключ M16
				2		
				16		
				16		
10	На раму 6 встановити зібраний вал 7 , та встановити кришку 12, раму 6 зафіксувати на фундаменті болтами 33			1		Ключ M20
				1		
				1		
				18		

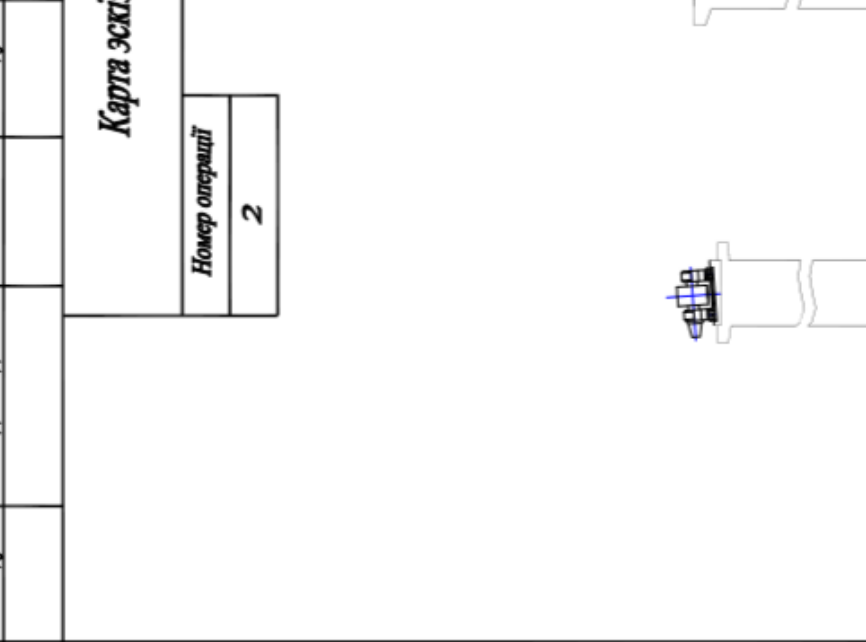
9.2.1 План-схема розміщення фундаментних болтів

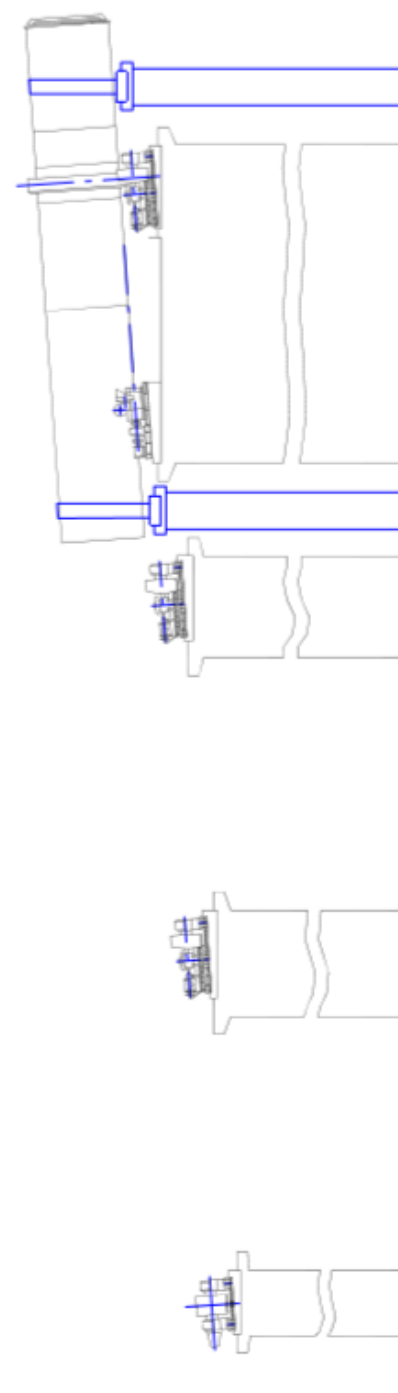
9.2.1 План-схема розміщення фундаментних болтів




9.2.2 Карти ескізів монтажу машини


[illegible]

Лав. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв. №	Лав. № дубл.	Підпис і дата																																																																																				
Карта ескізів																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2">Номер операції</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">2</td> </tr> </table>					Номер операції		2																																																																																	
Номер операції																																																																																								
2																																																																																								
																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Н. контр.</td> <td>Розроб.</td> <td>Калитченко С.</td> <td>Перевірив</td> <td>Борщук С.О.</td> <td>Арх.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Н. контр.	Розроб.	Калитченко С.	Перевірив	Борщук С.О.	Арх.																																																																				
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Н. контр.	Розроб.	Калитченко С.	Перевірив	Борщук С.О.	Арх.																																																																									

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Вам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата																																																				
Карта ескізів																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Номер операції</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td></td> </tr> </table>					Номер операції		3																																																	
Номер операції																																																								
3																																																								
																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Розроб.</td> <td>Калитченко С.</td> <td>Арх.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Перевірив</td> <td>Борщук С.О.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Арх.</td> </tr> </table>					Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Арх.											Перевірив	Борщук С.О.												Н. контр.															Арх.
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Арх.																																												
										Перевірив	Борщук С.О.																																													
										Н. контр.																																														
												Арх.																																												

Лист № дубля.	Підпис і дата	Взам. лис. №	Лист № дубля.	Підпис і дата																																																				
Карта ескізів																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Номер операції</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> </table>					Номер операції	4																																																		
Номер операції																																																								
4																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Розроб.</td> <td>Калитченко С.</td> <td>Арх.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Перевірив</td> <td>Борщук С.О.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Арх.</td> </tr> </table>					Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Арх.											Перевірив	Борщук С.О.												Н. контр.															Арх.
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Арх.																																												
										Перевірив	Борщук С.О.																																													
										Н. контр.																																														
												Арх.																																												

Ім'я. № дубля.	Підпис і дата	Вам. іма. №	Іма. № дубля.	Підпис і дата																																																				
Карта ескізів																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Номер операції</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> </table>					Номер операції	5																																																		
Номер операції																																																								
5																																																								
																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Зм.</td> <td>Арх.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Розроб.</td> <td>Калитченко С.</td> <td>Арх.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Перевірив</td> <td>Борщук С.О.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Арх.</td> </tr> </table>					Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Арх.											Перевірив	Борщук С.О.												Н. контр.															Арх.
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Арх.																																												
										Перевірив	Борщук С.О.																																													
										Н. контр.																																														
												Арх.																																												

Ім. № дубл.	Підпис і дата	Вам. ім. №	Ім. № дубл.	Підпис і дата																																																				
Карта зскізів																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Номер операції</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> </table>					Номер операції	6																																																		
Номер операції																																																								
6																																																								
																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Зм.</td> <td>Арк.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Зм.</td> <td>Арк.</td> <td>№ документа</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td>Розроб.</td> <td>Калитченко С.</td> <td>Архит.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Перевірив</td> <td>Борщук С.О.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td>Архит.</td> </tr> </table>					Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Архит.											Перевірив	Борщук С.О.																									Н. контр.		Архит.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розроб.	Калитченко С.	Архит.																																												
										Перевірив	Борщук С.О.																																													
										Н. контр.		Архит.																																												

9.2.3 Операційна карта монтажу

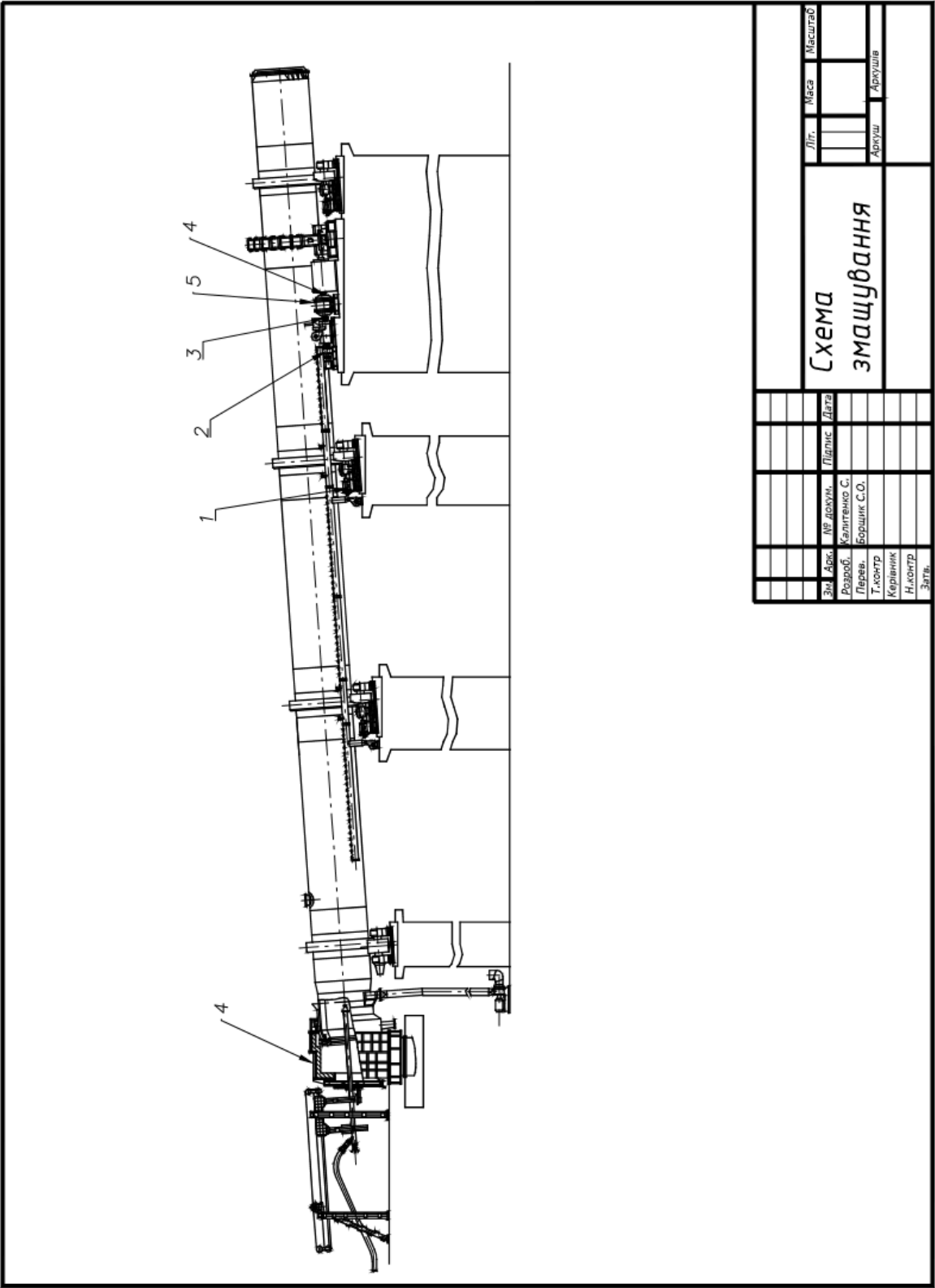
Инв.№дубл.		Підпис і дата		взамінв №		Инв.№ дубл.		Підпис і дата		ГОСТ 3.1407 – 74		Форма 1									
Номер чека		Номер цу-ка		Номер дублі-ката		Номер опера-ції		найменування операції		Обладнання (найменування, модель)											
								Монтаж печі обертової 6,5х90		кількість											
Номер переходу								Зміст переходу		Технологічний режим.		Кіль-ть		Приспосовування (код, найменування)		Інструмент (код, найменування), хв		То			
1								Встановити фундаментні болти за місцем 1.		Болт		32		Портальний кран							
								Встановити на дикі раму 1.		Рама 1		1									
2								Встановити опори 2 на раму 1.		Рама 1		1		Портальний кран							
								Встановити допоміжний привід 3 на раму 1.		Опора 2		4									
										Привод											
										допоміжний 3		1									
3								Встановити допоміжні опори на фундамент.		Блок печі 4		1		Портальний кран							
								Застропити и доставити бандаж на кондуктор, встановити		Опора 2		2		Опори тимчасові							
								його в горизонтальне положення.						Стропи							
										Разроб.				Калитченко С.Ю.				Арх			
										Перевірюв				Борщук С.О.							
										Керівник								Арх			
										Зм.		Рк...		№ док-м.		Підпис		Дата		Н. контр.	

Инв. № дубл.		Підпис і дата		взам. інв. №		інв. № дубл.		Підпис і дата		ГОСТ 3.14.07 – 74 Форма 1			
Номер чека		Номер документа		Номер операції		наименование операции		Обладнання (найменування, модель)					
						Монтаж печі обертової 6,5х90		кількість					
Номер переходу		Зміст переходу		Технологічний режим.		Кількість		Пристосування (код, найменування)		Інструмент (код, найменування)		Точність	
		Застропити і доставити одичайку на кондуктор, опустити одичайку в середину бандажа. Провести центровку бандажа на одичайці.											
		Застропити бандаж і доставити на передбачене місце.											
		Застропити, підняти та встановити блок печі 4.											
4		Встановити допоміжні опори на фундамент.		Блок печі 5		2		Портальний кран					
		Застропити і підняти блок 5 і стикувати його з блоком 4.				1		Зварювальний апарат					
		Зварити сектор печі 4 та 5.						Опори тимчасові					
								Стропи					
						Разроб.		Каличенко С.Ю.				Арх.	
						Перевірив		Борщук С.О.				Арх.	
						Керівник						Арх.	
		Зм.		рк..		№ докум.		Підпис		Дата		Н. контр.	

Инв. № дубл.	Підпис і дата	взам. інв. №	Инв. № дубл.	Підпис і дата
Номер чека	Номер дубл-ката	Номер опера-ции	найменування операції	
			Обладнання (найменування, модель)	
			кількість	
			Монтаж печі обертової 6,5x90	
Номер переходу	Зміст переходу		Технологічний режим.	Кіль-ть
				Приспосовування (код, найменування)
				Інструмент (код, найменування), хв
5	Аналогічно встановити блоки печі 6 та 7.		Блок печі 6	1
			Блок печі 7	1
				Портальний кран
				Опори тимчасові
				Стропи
6	Підняти кінцьову шестерню 9 и завести її на корпус блока 4		Блок печі 4	1
	Застропуити, підняти і встановити на фундамент редуктори та основний привод 8.		Шестерня	
			Вінцьова 9	1
			Привод	
	Застропуити, підняти та встановити систему змащення 10.		основний 8	1
			Система	
			змащення 10	1
			Разроб.	Калитенко С.Ю.
			Перевірив	Борщук С.О.
			Керівник	
				Арх
	Зм.	рк..	№ докцм.	Підпис
	Дата	Зм.	рк...	№ докцм
	Підпис	Дата	Зм.	рк...
				Н. контр.

9.3 Експлуатація машини

9.3.1 Схема змащення



9.3.2 Таблиця змащення

Таблиця 9.1-Таблиця змащення

№ п/ п	Змащуванні місця	Кількість Точок змащення	Змазка	Метод змащення	Періодичність змащення
1	Підшипник опори	8		Централізо- вана система змащення	Під час роботи
2	Підшипник редуктора допоміжного двигуна	1	УС-2 (солідол)	Набивка	1 раз / 6 місяців
3	Муфта редуктора	1	АК-10	Шприцовка	3 рази / 6 місяців
4	Підшипник редуктора головного двигуна	2		Централізо- вана система змащення	Під час роботи
5	Редуктор	1		Централізо- вана система змащення	Під час роботи
6	Централізована система змащення	1		-----	Під час роботи

Висновок: в результаті виконання розділу монтаж та експлуатація була розроблена технологія складання вузла обертової печі - гідроупор. Виконано схематичний монтаж печі на фундамент та створені схема змащення і таблиця змащення для нормальної експлуатації обертової печі.

ВИСНОВКИ

Виконання магістерської дисертації базується на літературному аналізі, власних досліджень і аналізі описаних в літературі існуючих умов експлуатації опорних вузлів обертових печей. На підставі описаних в літературі закономірностей механічних та теплових режимів роботи випалювальних обертових печей обґрунтовано технічні рішення, що спрямовані на підвищення терміну служби опорних вузлів та бандажів.

Виконано чисельно-експериментальні дослідження теплових і механічних режимів роботи опорних роликів і бандажа випалювальних печей. Виконані розрахунки теплообміну та механічного стану бандажа і опорного вузла, а також, розрахунки, що доводять підвищення коефіцієнтів ресурсоефективності використання металоконструкції обертової печі.

В результаті виконаних розрахунків встановлені закономірності взаємного впливу механічних та теплових параметрів на роботу опорних роликів та бандажа обертової печі. Теоретично обґрунтовано оптимальне розташування опорних роликів та вплив на ресурс роботи обертової печі в цілому

Використана методика і алгоритми розрахунку дозволили визначати напружено-деформований стан обертових печей з урахуванням дії, як гравітаційних сил, так і термосилових навантажень в комплексній постановці, що дає можливість детального моделювання та дослідження обертової печі та її конструктивних елементів у процесі роботи.

Отже, після проведення літературно патентного пошуку та аналізу конструкції обертової печі, та можливості застосування модернізації до обраної базової машини.

Було обрано патент з модернізації опірного пристрою обертового барабану. Який забезпечує рівномірний розподіл навантаження по поверхні бандажа, що в свою зменшує амплітуду коливань напружень, завдяки цьому підвищується ресурс роботи обертового барабана в цілому. Це можливо завдяки тому що опірні ролики встановлені попарно та встановлені шарнірно що дає змогу отримати рівномірний розподіл навантаження між всіма роликами.

В роботі запропонована нова конструкція опірної станції обертової печі, на підставі виконаних розрахунків за допомогою числової моделі шляхом дослідження зміни напружено-деформованого стану корпусу печі та бандажів.

Розроблені конструктивно-технічні рішення щодо ресурсо- та енергоефективних режимів роботи опорних вузлів, що базуються на експериментально-розрахункових дослідженнях з використанням математичного моделювання.

Отримані дані підтверджують ресурсо-ефективність розглянутого опірного механізму та дають можливість його безпосереднього впровадження в технологічний процес.

Використання математичної моделі дозволяє виконувати точні розрахунки та визначити напружено-деформований стан опори обертового барабана.

Отримані результати розрахунку підтвердили працездатність модернізації, так як отримані максимальні напруження не перевищують допустимі.

Пропонована модернізація забезпечує зменшення напружень та їх амплітуди, за рахунок створення рівномірного контакту, та розподілу напружень, між всіма опірними роликами та бандажем обертового барабана, тим самим підвищує ресурс роботи бандажів та роликів.

Таким чином, запропоноване технічне рішення дозволяє зменшити напруження в опірному вузлі та збільшити ресурс використання бандажу на 49,19%, тобто в порівнянні з базовим на 14,52 років, що має позитивний економічний ефект і дає можливість пропонувати дану конструкцію для модернізації обертової печі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1 Под ред. В. Г. Лисиенко. - М.: Теплотехник, 2004.-688 с.
2. Ходоров Е.О. Печи цементной промышленности -издание, дополнена и переработанное, издательство литературы по строительству ленинград 1968.-456 с.
3. Канторович З.Б. Машины химической промышленности Издательство «Машиностроение» Москва 1965.-415 с.
4. О. С. Сахаров, В. Ю. Щербина, О. В. Гондляр, В. І. Сівецький. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості: Навчальний посібник – К.: ТОВ “Поліграф Консалтинг”, 2006. – 156 с.
5. Ходоров Е. И. Печи цементной промышленности. Л.: Промстройиздат, 1968, 455с.
6. Силенок С. Г., Гризак Ю. Ф., Лямин В. Н. и др. Печные агрегаты цементной промышленности. М.: Машиностроение, 1984. 166с.
7. Щербина В.Ю. Розвиток теорії та удосконалення технологічних процесів при виробництві будівельних матеріалів у високотемпературних агрегатах: диссертация ... доктора технических наук: 05.17.08 / Щербина Валерій Юрійович; - Київ, 2017. -393 с.
URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21630>
8. Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1981. 324 с.
9. Журавлев М. И., Фоломеев А. А, Механическое оборудование предприятий вяжущих материалов и изделий на базе их. М.: Высш. шк., 1983. 309 с.
10. Сапожников М. Я. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. М.: Машгиз, 1962. 520 с.
11. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1979. Т. 1. 728 с.

12. Пат. UA 45684 A 6F27B7/22 Ванкевич Петро Іванович, Добрянська Любов Олександрівна, Затхей Богдан Ілліч, Семерак Михайло Михайлович 15 04 2002, Бюл № 4, 2002 р
13. Пат. UA 5383 U МПК (2009) B26B 25/00 F27B 7/20 B02C 17/00 B01D 9/00 МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ, КРАВЧЕНКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ХААС КИРИЛО ДЖЕЙМСОВИЧ 25.10.2010, Бюл. № 20, 2010 р
14. Пат. RU 148 628 U1, МПК F27B 7/22 (2006.01) , Федоренко Михаил Алексеевич (RU), Севрюгина Надежда Савельевна (RU), Бондаренко Юлия Анатольевна (RU), Санина Тамара Михайловна (RU), Липчанская Юлия Геннадиевна (RU) 2014131652/02, 30.07.2014
15. Пат. RU 457859 U1, МПК F27B 7/22 А.Д. Немков, В.Я. Коренев, В.И. Трофимов, 1865265/22-1
16. Щербина В.Ю., Дегодя Т. В., Новохатська Ю. М. Підвищення ресурсу роботи бандажів обертових печей // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2016. - № 1. - С. 110-115. DOI: <https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2016.77978>
17. Щербина В.Ю., Сахаров О.С., Гондляр О.В., Сівецький В.І.. САПР. Програмування на функціональній мові AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] // – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156с. URL: <https://cpsm.kpi.ua/publikatsiji/knigi/731>
18. Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка, В.Г. Попков. Э.С. Уманский. Сопротивление Материалов: Учебник для вузов/ Под. общ. Ред. Акад. АНУССР Г.С. Писаренко. – 4-е изд., перераб. и доп.-Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979.-696с.
19. Исламов М.Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей. – Л.: Химия, 1986. – 280 с., ил.
20. Мурашев В.И. Исследования по жароупорным железобетонным и армокирпичным конструкциям. М.: Госстройиздат, 1959, 343 с., ил
21. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1 Под ред. В. Г. Лисиенко. - М.: Теплатехник, 2004.- 688 с.
22. Щербина В.Ю., Чемерис А.О., Конструкторське проектування обладнання. Курсовий проект [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря

URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25664>

- 23.Махнович А. Т., Боханько Г. Я. Охрана труда и противопожарная защита на предприятиях промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1978. 247 с.
24. Золотницкий М.Д., Пчелинцев В.А. Охрана труда в строительстве. М.: Высш. шк., 1978. 408 с.
- 25.Щербина В.Ю., Конструкторське проектування обладнання. Конспект лекцій [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. – 83 с. URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25669>
- 26.Методичні вказівки з дипломного проектування обладнання хімічного, полімерного і силікатного підприємств. Розділ – „Технологія хімічного машинобудування”, укладачі Глаз П.Г., Коваленко І.В., Малиновський В.В., Пристайлов С.О., К., НТУУ „КПІ” 1997р – 44с.
- 27.Справочник технолога-машиностроителя, т.1-2, М., Машиностроение, 1985г.
- 28.Решетов Д.Н. „Детали машин”, М., Машиностроение, 1989г.
- 29.Машиностроительные нормативы времени на слесарную обработку и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Мелкосерийное и единичное производство. М., Машиностроение, 1973г.

ДОДАТОК А

Таблиця розглянутих патентів

№ з/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид та номер документу	Сутність інженерно-технічного рішення
1	ОПОРА ОБЕРТОВОГО ТЕПЛОТЕХНІ ЧНОГО АГРЕГАТУ	F27B7/22 (19) UA (11)45684 (13) A	Підвищити надійність в роботі всієї опори. В опор обертового теплотехнічного агрегата, що містить бандаж, по периметру якого рівномірно розміщені опорні та станину, встановлен на опорні рами згідно з винаходом, бандаж має П подібний переріз, а опорн ролик посаджен на сферичні підшипники, встановлен на вісях, закріплених в бокових стінках бандажа .
2	ОПОРА ОБЕРТОВОГО БАРАБАНА	F27B 7/20 (2009) (19) UA (11)53839 (13) U	Зменшення навантаження на основні ролики, а отже - і підвищує надійність апарата в цілому. Обойму споряджено щонайменше одним підпружиненим роликом, розміщеним між основними роликами і закріпленим з можливістю обертання й переміщення в напрямку шарніра обойми.
3	ОБЕРТОВА ПІЧ	F27B 7/00 (2013.01) (19) UA (11) 80926 (13) U	Зменшення зношеності поверхонь бандажів. Бандажі кільцеподібної форми опираються на ряд розташованих в жолобі сталених опорних куль, що призводить до зменшення питомого навантаження на бандажі і опорні кулі за рахунок збільшення кількості поверхонь стискання деталей. Це дає змогу різко зменшити зношеність поверхонь бандажів і опорних роликів.
4	ОПОРНИЙ ПРИСТРІЙ	F27B 7/22 (2006.01)	Удосконалення опорного пристрою барабана шляхом установки сепаратора, в циліндричних

	БАРАБАНА	(19) UA (11) 83440 (13) U	отворах. В опорному пристрою барабана, що містить бандаж, по периметру якого рівномірно розміщені опорні ролики, опорну раму та станину, опорні ролики встановлені в отвори кільцевого сепаратора, що охоплює бандаж з зазором, з однаковим кутовим кроком.
5	ОПОРНИЙ ПРИСТРІЙ ОБЕРТОВОГО БАРАБАНА	F27B 7/22 (2006.01) (19) UA (11) 107295 (13) U	Забезпечує можливість регулювання положення сусідніх роликів один відносно одного, а отже, й раціональне положення роликів в разі зміни конструкції барабана, а також режимів його роботи, що розширює технологічні можливості пристрою. В опорному пристрої обертового барабана кожний з поздовжніх елементів виконано регульованої довжини. У найприйнятніших прикладах виконання пристрою кожний з поздовжніх елементів виконано у вигляді щонайменше двох телескопічних труб або у вигляді нарізної стяжки.
6	ОПОРНИЙ РОЛИК	F27B 7/22 (2006.01) (19) RU (11) 144 272 (13) U1	Забезпечує його високу довговічність і ремонтпридатність при відносно невисокій собівартості, причому окремі конструктивні рішення дозволяють забезпечити високу технологічність опорного ролика. Порожнину всередині опорного ролика заповнюється рідиною, що дозволяє рівномірно розподілити напруги, що виникають в матеріалі кільцевої обичайки і бічних кованих дисках і тим самим знизити навантаження на окремі елементи конструкції опорного ролика, підвищити його довговічність і ремонтпридатність.

7	ОПОРА ОБЕРТОВОЇ ВИПАЛЮЮЧ ОЇ ЦЕМЕНТНОЇ ПЕЧІ	F27B 7/22 (2006.01) (19) RU (11) 148 628 (13) U1	Удосконалення та автоматизація її роботи за рахунок усунення фізичних робіт для забезпечення необхідних розмірів між роликами опори обертається обпалювальної цементної печі, без зупинки виробничого процесу. Опора обертається обпалювальної цементної печі включає з'єднаний попарно корпус з опорними обертовими роликами. Корпуси роликів з'єднані попарно гідроциліндром двосторонньої дії з нерухомою гільзою циліндра.
8	ОРГАНІЗАЦІ Я ПІДТРИМКИ РОТАЦІЙНО ГО БАРАБАНА	F27B7 / 22 2019-02-14 US2019049182 (A1)	Зменшити або навіть повністю запобігти циклічні перевантаження опорних роликів. Пружинні засоби містять посудину під тиском, заряджений стисненим газом, який створює силу пружини. Таким чином, сила пружини, що протидіє вазі обертового барабана, що спирається на ролики, не забезпечується виключно рідкої рідиною під тиском, такий як гідравлічне масло блоку циліндр-поршень, але містить ефекти подушки стисненого газу. Таким чином, може бути досягнута оптимізація характеристик пружини, в результаті чого сила пружини значно не збільшується в залежності від траєкторії зміщення роликів.
9	РОЛИКООПО РИ ОБЕРТОВОГ	F27B 7/22 (1995.01) (19) RU (11) 2	Забезпечення можливості регулювання жорсткості податливого елемента і підвищення терміну служби.

	О БАРАБАНА	038 560 (13) C1	Опора забезпечена притискними елементами і нерухомо насадженої на вісь втулкою, причому притискні елементи встановлені по обох торцях податливого елемента з можливістю взаємодії з ним в осьовому напрямку, а податливий елемент розміщений в замкненій порожнині між втулкою, бочкою і притискними елементами.
10	ОПОРА	6 B63H23/24 (19) UA (11) 33782 (13) A	Підвищити надійність фрикційних контактів і за рахунок цього підвищити жорсткість опори. В опорі, що містить корпус, який охоплює вал, опорні ролики, що контактують з валом і встановлені на своїх осях, осі роликів розташовані попарно в каретках, які мають сферичні гнізда, а в корпусі встановлені пальці, при цьому торцеві поверхні пальців, що повернені до кареток, виконані сферичними і розміщені у гніздах кареток, а в пальцях зроблені канали для підводу мастила
11	СПОСІБ ДИНАМІЧНО Ї ВИВІРКИ ОСІ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ	F27B 7/22 (2006.01) (19) RU (11) 2 570 136 (13) C2	Підвищення терміну експлуатації обертових печей. Проводиться установка опорних роликів, що забезпечує паралельність їх осей обертання геометричної осі печі, а потім пересувним обробляють центром обробляються поверхні контакту опорних роликів і бандажів до забезпечення безперервної лінії контакту.

12	СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕН НЯ ТОЧНОСТІ УСТАНОВКИ ВИПАЛЮВА ЛЬНОЇ ПЕЧІ ЩОДО ТЕОРЕТИЧН ОЇ ОСІ ОБЕРТАННЯ	F27B 7/22 (2006.01) (19) RU (11) 2 346 220 (13) C1	Забезпечення точності установки обпалювальної печі щодо її теоретичної осі обертання без зупинки технологічного процесу виробництва продукції, що призводить до збільшення терміну експлуатації печей, футеровки і опор. Ролики встановлюють так, щоб осі їх обертання були паралельні між собою у вертикальній і горизонтальній площинах теоретичної осі обертання печі, а середина роликової опори перебувала у вертикальній площині теоретичної осі печі
13	ОПІРНИЙ РОЛИК	F27B 7/22 (2000.01) (19) RU (11) 2 221 204 (13) C1	Підвищення довговічності ролика за рахунок багаторазового використання осі і бочки ролика і застосування більш зносоустійкого бандажа. Використання бандажа як насадженого з натягом, так і наплавленого в міру зносу бандажа його можна замінити на новий відповідно напресуванням або наплавленням. Для отримання наплавленого бандажа використовують сплав з вмістом вуглецевого еквівалента 0,24-9,30%.
14	ОПІРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБЕРТОВОГ О БАРАБАНА І ОБЕРТОВИЙ БАРАБАН, ОСНАЩЕНИ Й ТАКИМ	F27B 7/22 (2000.01) (19) RU (11) 2 202 745 (13) C2	Усунення недоліків, а також забезпечувати постійне утримання осі ролика паралельно осі барабана. Містить принаймні один ролик, який взаємодіє з барабаном, і не менше двох опор, що забезпечують можливість обертання ролика навколо його осі, розташованих на підставі,

	ПРИСТРОЄМ		при цьому воно забезпечене рамою з закріпленими на ній опорами, встановлену з можливістю повороту навколо осі повороту, перпендикулярній площині, що проходить через вісь обертання ролика і перпендикулярної основи, названої площиною повороту
15	РОЛИКООПО РА ОБЕРТОВОГ О БАРАБАНА	F27B 7/22 (1995.01) (19) RU (11) 2 038 560 (13) C1	Зниження вібраційних навантажень, що передаються від барабана на опорні та інші частини барабанного агрегату, а також на металоконструкції цеху. Вона забезпечена притискними елементами і нерухомо насадженої на вісь втулкою, притискні елементи встановлені по обох торцях податливого елемента з можливістю безконтактної взаємодії з ним в осьовому напрямі для зміни його жорсткості, а податливий елемент розміщений в замкненій порожнині між втулкою, бочкою і притискними елементами.
16	ОПОРА ОБЕРТОВОГ О БАРАБАНА	F27B 7/22 (1990.01) (19) RU (11) 2 011 133 (13) C1	Забезпечення необхідного осьового переміщення корпусу обертового барабана за допомогою саморегулювання перекосу опорних роликів. Пари підшипникових вузлів опорних роликів переміщені в корпуси, рухливо встановлені на раму і сполучені з шарнірами тяг регульованої довжини, на внутрішніх поверхнях корпусів опорних роликів є упори, між опорними роликами по осі обертового барабана розміщена пара наполегливих роликів,

			підшипникові вузли з'єднані між собою, встановлені на напрямних і забезпечені клинами, періодично взаємодіючими з упорами на корпусах опорних роликів
17	ОПОРА ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ	F27B 7/22 (2000.01) (19) SU (11) 1 768 900 (13) A1	Підвищення надійності опори за рахунок підвищення її компенсуючої можливості та зниження металоємності. В опорі з двома опірними роликами та підшипниками , рамою з верхньою частиною у вигляді пружних консольних балок , опертих на попередньо зжаті пакети тарільчастих пружин , консольні балки прикріплені до рами шарнірно.
18	РОЛИКОВА ОПОРА	F27B 7/22 (2000.01) (19) SU (11) 1 723 426 (13) A1	Підвищення строку служби опори. Вісь кожного ролика виконана на кінцях з циліндричними отворами , на зовнішній поверхні яких напресовані підшипники осей роликів , катки виконані з внутрішніми ступицями , в які встановлені їх підшипники розміщені в циліндричні порожнини осі ролика з зазором відносно їх внутрішніх поверхонь, кожна пружина приєднана до підшипників катків за допомогою одного з кінців скоби .